

Influência da Acção do Homem no Ambiente e Estratégias de Recuperação de Paisagens Mineiras.

Proposta de Projecto Paisagístico para uma Vertente na Mina de São Domingos

Leonor Froes David Cruz de Carvalho

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Arquitectura Paisagista

Orientador: Professora Catedrática Doutora Maria Manuela Silva Nunes Reis Abreu

Júri:

Presidente: Doutora Ana Luísa Brito dos Santos Sousa de Soares, Professora Auxiliar, Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutora Maria Manuela Silva Nunes Reis Abreu, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, orientadora;

Doutora Selma Beatriz de Almeida Nunes da Pena Baldaia, Professora Auxiliar Convidada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

2018

AGRADECIMENTOS

Ao longo dos anos muitas são as pessoas que contribuem para a nossa aprendizagem e nos incentivam a ser melhores e a seguir em frente, mesmo quando não parece possível.

Em primeiro lugar, à Professora Maria Manuela Abreu pela paciência, disponibilidade, compreensão e partilha de conhecimentos na realização da presente dissertação, assim como pelas importantes sugestões e correcções.

Às duas pessoas mais importantes da minha vida: os meus pais. Por todo o conhecimento que me passaram e inculcaram, por me incentivarem a ser melhor e a exigir mais de mim, por partilharem das mesmas preocupações ambientais, por sempre terem feito os possíveis e os impossíveis por mim, por isto e muito mais, obrigada. É graças a eles que sou o que sou e cheguei até aqui.

Aos meus amigos e família pela amizade, carinho e paciência, agora e sempre.

A todos os que de forma directa ou indirecta contribuíram para que chegasse até aqui. Certamente estes parágrafos não incluem todas as pessoas que fizeram parte desta importante fase, por isso, desde já gostaria de garantir que estão presentes no meu pensamento e têm a minha gratidão.

RESUMO

Muitas minas encontram-se em situação de abandono, estando por isso sujeitas a degradação. Deve-se ter em atenção as áreas mineiras onde o minério explorado estava associado a sulfuretos, como acontece na Faixa Piritosa Ibérica (FPI), devido ao facto de estes, através de reacções químicas, darem origem a processos de drenagem ácida, libertando elementos potencialmente tóxicos.

Como tal, a presente tese tem como tema principal a recuperação destas áreas contaminadas, nomeadamente a Mina de São Domingos, pertencente à FPI, tendo como objectivo alertar para os impactes ambientais e as consequências que estas actividades provocam na paisagem, além de mostrar as possíveis técnicas de recuperação destas áreas. No fim apresenta-se uma proposta paisagística para a recuperação de uma vertente da Mina de São Domingos, em Mértola, com base no uso de plantas autóctones e adaptadas às condições do local, e através da aplicação de um Tecnossolo.

É importante não só o estudo de áreas mineiras como a de São Domingos mas também a mudança de atitude relativamente à relação Homem/Natureza, onde ocorre a transição de explorador para administrador.

Palavras-chave: Mina de São Domingos; áreas contaminadas; recuperação paisagística; plantas autóctones; Tecnossolo.

ABSTRACT

Several mining areas are abandoned and therefore subject to degradation. Mining areas where the extracted ore was associated with sulfides, like in the Iberian Pyrite Belt (IPB), must be taken into account due to the fact that these minerals, through chemical reactions, will generate acid mine drainage releasing potentially hazardous elements.

Therefore, the main issue of the present work is the recovery of these contaminated areas, such as São Domingos mine, inserted in the IPB, with the purpose of alerting to the environmental impacts and the consequences that these activities cause in the landscape. Several possible techniques for the recovery of these areas are referred. A landscape architecture project for the environmental recovery and landscape enhancement of a slope in São Domingos mine, based on the use of spontaneous plant species and the application of a Technosol is presented.

It is important not only the study of mining areas such as São Domingos because of their potential of contamination, but also the change of attitude regarding the Man/Nature relation, where a transition from explorer to administrator occurs.

Key-words: São Domingos mine; contaminated areas; landscape project; spontaneous plants species; Technosol.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE GERAL	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	ix
INTRODUÇÃO	1
i. Escolha do tema – Motivação	1
ii. Escolha do tema – Pertinência	1
iii. Objectivos do Estudo.....	1
iv. Metodologia	2
v. Estrutura da Dissertação	2
CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1 PAISAGEM CULTURAL E INDUSTRIAL	3
1.1.1 Antecedentes	3
1.1.2 Conceitos	4
1.1.3 Intervenção Humana	5
1.1.3.1 Abordagens à Intervenção do Homem	6
1.2 EXPLORAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS.....	7
1.2.1 Explorações Mineiras	7
1.2.2 Impactes Ambientais	8
1.2.2.1 Encerramento e Abandono - Efeitos da Actividade Mineira.....	8
1.2.2.2 Enquadramento Legal	9
1.3 ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO.....	11
1.3.1 Contaminação de Solos por Metais e Metalóides.....	11
1.3.2 Medidas de Actuação Sobre a Paisagem Afectada	12

1.3.2.1	Medidas de Contenção.....	12
1.3.2.2	Medidas de Descontaminação	15
1.3.2.3	Técnicas de Remediação de Natureza Biológica	17
1.3.3	Utilização de Micorrizas Arbusculares	26
1.3.4	Tecnossolos	28
1.4	ESTRATÉGIAS DE DESENVOLVIMENTO	30
1.4.1	Importância e Influência do Turismo	30
CAPÍTULO 2 – CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO		32
2	MINA DE SÃO DOMINGOS.....	32
2.1.1	Enquadramento Biofísico e Histórico	32
2.1.2	Enquadramento Geológico e Litológico	36
2.1.3	Vegetação Existente	38
2.1.4	Espécies de Interesse	41
2.1.5	Valor Económico Acrescentado.....	42
3	CONCEITO DE INTERVENÇÃO	44
3.1	PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO PAISAGÍSTICA.....	44
3.1.1	Plano Geral – Objectivos	45
3.1.2	Modelação do Terreno.....	46
3.1.3	Rede de Drenagem	48
3.1.4	Tecnossolo	49
3.1.5	Plano de Plantação	50
3.1.6	Faseamento do Projecto	53
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS		54
ANEXO A		xii
ANEXO B		xiii
ANEXOS C		xiv

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Técnicas de remediação de solos contaminados (ad. Ullah <i>et al.</i> , 2015).....	12
Fig. 2. Técnica de remediação do solo através do método de cobertura de superfície, com o uso de várias camadas (ad. Bech <i>et al.</i> , 2013).....	13
Fig. 3. Ilustração de uma medida de contenção através de um sistema de construção de barreiras verticais em torno de uma área contaminada (ad. USEPA, 2012).....	14
Fig. 4. Utilização de um tratamento térmico para um solo contaminado através da extracção de vapor (ad. Bech <i>et al.</i> , 2013).....	16
Fig. 5. Principais processos de fitorremediação (ad. Pilon-Smits e Freeman, 2006).....	19
Fig. 6. Representação esquemática do processo de fitoextração (ad. Hénault-Ethier, 2016).....	20
Fig. 7. Representação esquemática do processo de fitoestabilização (ad. Sheoran <i>et al.</i> , 2013)	20
Fig. 8. Representação esquemática do processo de fitodegradação (ad. Hénault-Ethier, 2016)	22
Fig. 9. Representação esquemática da fitoestimulação onde os exsudados das plantas estimulam a microflora na rizosfera de modo a degradar os contaminantes orgânicos (ad. Chatterjee <i>et al.</i> , 2013)	23
Fig. 10. Representação esquemática da fitofiltração, utilizando as raízes das plantas para absorver os contaminantes em meios aquosos (ad. Chatterjee <i>et al.</i> , 2013).....	24
Fig. 11. Representação esquemática da fitovolatilização onde os metais são volatilizados através do processo de evapotranspiração das plantas (ad. Chatterjee <i>et al.</i> , 2013).....	25
Fig.12. Micorrizas Arbusculares (ad. Schnepf <i>et al.</i> , 2008).....	27
Fig. 13. Localização da Mina de São Domingos na Faixa Piritosa Ibérica (Matos e Oliveira, 2003)....	32
Fig. 14. Evidências do impacto ambiental derivado da actividade mineira (2017).....	33
Fig. 15. Evidências do impacto ambiental derivado da actividade mineira (2017).....	33

Fig. 16. Complexo Mineiro de São Domingos (ad. Brochura de São Domingos).....	35
Fig. 17. Carta de Solos do Concelho de Mértola (ad. Casimiro, 1993).....	37
Fig. 18. Carta de Solos na área da Mina de São Domingos (Cedido por Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Alentejo - DRAP Alentejo).....	38
Fig. 19. <i>Eucalypto camaldulensis</i> , presença marcante na paisagem da mina (2016).....	39
Fig. 20. Plantas do género <i>Cistus</i> existentes na área da mina de São Domingos (2016).....	39
Fig. 21. Planta do género <i>Erica</i> existente na área da mina de São Domingos (2016)	41
Fig. 22. Localização geográfica da área de intervenção (ad. Google Maps, 2018).....	44
Fig. 23. Ilustração da evolução ao longo dos anos nos núcleos de vegetação (sem escala).....	45
Fig. 24. Ilustração dos patamares do projecto de intervenção (sem escala) – a) patamar superior; b) patamar inferior.....	46
Fig. 25. Esquema representativo dos valores aproximados de inclinação nos taludes (sem escala).....	47
Fig. 26. Representação do Plano Geral do projecto de intervenção (sem escala).....	47
Fig. 27. Representação de um módulo de plantação (sem escala).....	48
Fig. 28. Representação das áreas de maior acumulação de águas superficiais (sem escala)	49
Fig. 29. Pormenor construtivo (sem escala) do Tecnossolo a aplicar.....	50
Fig. 30. Representação do resultado esperado na primeira semana da aplicação de gunitagem orgânica (sem escala).....	51
Fig. 31. Representação do resultado esperado na terceira semana da aplicação de gunitagem orgânica (sem escala).....	52

INDICE DE QUADROS

Quadro 1. Cronologia das companhias que exploraram a Mina de São Domingos.....	33
Quadro 2. Herbáceas propostas no plano de plantação do projecto de intervenção na Mina de São Domingos.....	51

Quadro 3. Arbustos propostos no plano de plantação do projecto de intervenção na Mina de São Domingos.....	52
--	----

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

ICOMOS – Conselho Internacional de Monumentos e Sítios

IFLA – Federação Internacional de Arquitectos Paisagistas

FPI – Faixa Piritosa Ibérica

EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro

SGPS – Sociedades Gestoras de Participações Sociais

VEB – Vertical Engineered Barriers

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

MA – Micorrizas Arbusculares

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

CVS – Complexo Vulcano-Sedimentar

MO – Matéria Orgânica.

INTRODUÇÃO

i. Escolha do tema – Motivação

Passaram vinte e cinco anos desde o meu primeiro contacto com a natureza. Criada numa família sempre muito ligada aos assuntos e preocupações ambientais, não me podia deixar de correr no sangue as mesmas preocupações que levaram o meu pai, o meu avô, os meus tios e os meus primos a enveredar por este caminho.

Desde muito pequena, fui ensinada a valorizar e a cuidar da natureza que nos rodeia; através do meu pai, que é agricultor, aprendi a importância do solo para as plantas e também a importância e os cuidados que devemos ter com o solo. Ao ver, dia após dia, o meu pai a cultivar e cuidar da sua horta, como quem cuida de um bem precioso, onde o mais ínfimo pormenor era pensado, aprendi conceitos básicos da nossa área e que irão orientar a minha vida para sempre, tais como a drenagem, a rega e erosão (só ainda não lhes chamava assim). Através das pinturas da minha mãe, algumas imaginadas e idealizadas, outras baseadas em locais reais, aprendi o que era uma paisagem.

ii. Escolha do tema – Pertinência

À medida que o tempo passou, esta consciência ambiental aumentou. Apesar dos esforços dos governantes de muitos países, através da criação de programas de gestão sustentável, quebrámos o equilíbrio na Terra, a qual ocupámos sem o devido licenciamento. O aumento populacional acarreta consequências devastadoras, tais como o aumento da urbanização, a intensa extracção de recursos naturais renováveis, e não renováveis, a indústria do carvão, do petróleo, a desflorestação e a agricultura intensiva.

Desde a antiguidade que o Homem explora os recursos minerais de modo a obter os bens que satisfaçam as suas necessidades. Há milénios que se exploram minérios para a produção de metais. Há muitos séculos que se valorizam os mármore e trabalham as argilas. As nascentes termais são utilizadas desde os tempos do Império Romano. As margas são a matéria-prima para a indústria do cimento. Os carvões, o petróleo, os minerais de urânio, constituem, actualmente, indispensáveis matérias-primas energéticas, suporte da civilização industrial em que vivemos. Os fluidos naturais quentes são já aproveitados na produção comercial de energia (Decreto-Lei n.º 90/90 de 16 de Março do Ministério da Indústria e Energia).

Em Portugal existem mais de cem minas abandonadas. Estas áreas, inactivas ou abandonadas, podem conduzir a danos irremediáveis nos ecossistemas (Candeias e Mirão, 2007).

iii. Objectivos do Estudo

Nesta dissertação pretende-se analisar, avaliar e propor medidas de reabilitação e recuperação de uma zona da área da Mina de São Domingos. Para tal, inicialmente será feita uma análise desta zona mineira considerando as várias componentes de forma a definir algumas estratégias adequadas de

acordo com as medidas de recuperação de solos contaminados. Por fim, será apresentada uma proposta paisagista para uma área específica, previamente seleccionada, de uma das vertentes da linha de água desta mina.

iv. Metodologia

Inicialmente foram analisados projectos de referência, foram feitas várias visitas ao local e fez-se um levantamento de espécies. Também foi realizado um levantamento fotográfico e descritivo do local. Finalmente foi proposto um projecto de carácter paisagístico.

Em termos de etapas, a metodologia deve seguir a seguinte ordem: identificação do principal problema do local, fazer estudos e análises das características da área de intervenção para que se possa ter todas as componentes necessárias para a adequada actuação (levantamento topográfico, estudo da hidrologia da região, exposições solares, análises ao solo, levantamento das espécies vegetais, e outros estudos que se considerem importantes no âmbito de encontrar soluções para o problema da área), pois cada local terá diferentes tipos de contaminação e por isso diferentes medidas de actuação).

v. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em quatro capítulos.

No **Capítulo 1** é apresentada a componente teórica, definindo-se inicialmente o conceito de paisagem de modo a chegar à aproximação de um conceito de paisagem cultural e industrial. É também apresentado neste capítulo o impacto que a intervenção humana tem nestas paisagens.

No **Capítulo 2** aplicam-se os conceitos anteriormente descritos ao caso de estudo desta dissertação – a Mina de São Domingos, localizada no concelho de Mértola. Inicialmente são expostas as características do local, o seu enquadramento geográfico tanto como a sua evolução histórica, de modo a obter-se uma análise fundamentada que culminará numa proposta paisagística adequada.

No **Capítulo 3**, com base nos conhecimentos adquiridos nos capítulos anteriores, é apresentada uma proposta de projecto de carácter paisagístico para uma área de uma das vertentes da ribeira de São Domingos na mina do mesmo nome.

Por último, no **Capítulo 4** são apresentadas, de uma forma sintetizada, as conclusões gerais, assim como algumas reflexões, do presente trabalho.

CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 PAISAGEM CULTURAL E INDUSTRIAL

1.1.1 Antecedentes

A Revolução Industrial foi a responsável por um processo mais vasto de transformação económica, frequentemente apelidado de "a penetração do capitalismo" (Reis, 1987), que compreendeu o alargamento dos mercados, levou a um aumento da especialização da produção e deu origem à criação de uma rede de transportes modernos.

Tradição, história, cultura, natureza, ambiente, solo: tudo tem que ser economicamente útil e que ser utilizado nesse processo produtivo. Deste modo, a natureza foi perdendo o seu carácter, para dar lugar a um processo modificado e produzido pela sociedade moderna (Soarez de Oliveira, 2002).

Regra geral, as indústrias desenvolvem-se em locais onde existam recursos naturais, como é o caso do Complexo Mineiro de São Domingos. A história moderna da mina começou na segunda metade do século XIX, em pleno auge da revolução industrial britânica, altura em que a procura de metais estava em crescimento na Europa e na América do Norte. O carácter excepcional de alguns dos jazigos minerais presentes na Península Ibérica, nomeadamente das minas de São Domingos, Tharsis e Rio Tinto atraíram o investimento estrangeiro e condicionaram o desenvolvimento subsequente destes locais sob a égide das empresas britânicas que os exploraram, durante um período de tempo de cerca de um século (Fundação Serrão Martins, 2017).

A existência de complexos mineiros como estes, além das consequências ambientais, é responsável pela transformação de territórios e comunidades.

Em 1962, nas Recomendações para a Salvaguarda da Beleza e Carácter das Paisagens e Sítios pela UNESCO, o Homem já era considerado o principal responsável pela degradação do meio natural, pelo que também deverá ser responsável pela protecção das paisagens e sítios naturais que sejam, em parte ou na totalidade, da sua autoria.

Em 1964, na Carta de Veneza, de acordo com o Art. 1, o conceito de monumento histórico passa a englobar, não só as criações arquitectónicas mas também os sítios urbanos ou rurais, nos quais sejam visíveis os testemunhos de uma civilização, ou que representem um período de tempo significativo de evolução ou progresso, ou ainda que sejam testemunho de um acontecimento histórico. Na mesma carta, no Art. 6, estabelece-se que a conservação desse dito monumento implica também a manutenção do espaço envolvente.

Em 1970, a ICOMOS une-se à IFLA, dando lugar à criação do Comité ICOMOS-IFLA, com o objectivo de promover a conservação e a recuperação de jardins históricos e das paisagens culturais (Aguiar e Gonçalves, 2007).

Em 1972, na Convenção de Paris, o património natural passa a ser considerado parte integrante do património da humanidade, dentro das seguintes tipologias: importantes elementos naturais, formações geológicas e fisiográficas e sítios naturais (Aguiar e Gonçalves, 2007).

Por fim, em 1992, a World Heritage Committee tornou-se o primeiro instrumento jurídico internacional a reconhecer e a proteger as denominadas, então, paisagens culturais (Aguiar e Gonçalves, 2007).

1.1.2 Conceitos

Paisagem Cultural

Como referido anteriormente, em 1972, aquando da décima sexta convenção da UNESCO, as paisagens culturais são referidas no Art. 1 como propriedades culturais que representam uma actividade conjunta entre a natureza e o homem (UNESCO, 1972), podendo representar a evolução da sociedade humana e o seu estabelecimento ao longo do tempo, com as devidas restrições físicas e/ou oportunidades apresentadas no meio natural onde se inserem e pelas sucessivas componentes sociais, económicas e culturais (Barranha, 2016).

Incluem-se nas áreas de paisagem cultural as partes topograficamente delimitadas da paisagem compostas por várias combinações entre o homem e a natureza, que demonstram a evolução da sociedade humana e a sua fixação no tempo e no espaço, e que ao longo do tempo adquiriram reconhecimento e valor social e cultural devido à presença de vestígios físicos que reflectem o uso da terra e as actividades praticadas no passado, tal como as suas técnicas e tradições particulares (Council of Europe, 1995).

Institucionalizou-se o conceito de paisagens culturais e delimitaram-se novos critérios para a sua inscrição na Lista do Património Mundial. As directrizes criadas pelo World Heritage Committee dividem as paisagens culturais em três categorias principais (UNESCO, 2008):

- 1) **Paisagens desenhadas e criadas intencionalmente pelo Homem**, compreendendo jardins e parques;
- 2) **Paisagens que evoluíram naturalmente**, reflectindo o processo evolutivo através de actividades socioeconómicas, administrativas ou religiosas. Dentro desta categoria distinguem-se as **Paisagens Fósseis**, na qual o processo evolutivo chegou ao fim a determinada altura do passado, e as **Paisagens em Continuidade**, caracterizadas por manterem um papel activo na sociedade contemporânea e na qual o processo evolutivo ainda se encontra em curso.
- 3) **Paisagens culturais associativas**, associando os elementos naturais à religião, à arte, à história, à ciência ou à cultura.

A paisagem cultural compreende assim uma multiplicidade de interacções entre o Homem e a Natureza. Este tipo de paisagem representa as marcas deixadas pelo Homem na paisagem, sendo

por isso uma ferramenta que regista a acção e a interacção do Homem com o território envolvente. Fornece também informação sobre o tipo de relação estabelecida ao longo do tempo entre as sociedades humanas e o meio rural/natural, podendo contribuir para uma melhor compreensão da história (UNESCO, 2008).

Deste modo, a categoria de Paisagem Cultural possibilita a articulação de questões como o património construído, o ordenamento do território e a gestão de recursos, na medida em que abre a porta para uma atitude ecológica face aos desafios do desenvolvimento de modo a que se possa fazer uma gestão inteligente dos mesmos. (Aguilar e Gonçalves, 2007).

Paisagem Industrial

A industrialização e a Revolução Industrial deram lugar a “novas” paisagens – as paisagens industriais.

A paisagem industrial é um tipo de paisagem cultural. Pode ser definida como uma paisagem que foi alterada como consequência da actividade humana, em que o principal processo cultural é a indústria, isto é, resulta de uma profunda e constante actividade do Homem na paisagem natural ou agrícola com o objectivo de desenvolver actividades industriais (Silva, 2016).

Em 2003 foi emitida a Carta de Nizhny Tagil, que valoriza não só o edifício isolado mas também os complexos industriais e a paisagem industrial (Silva, 2016).

O património industrial compreende assim os vestígios da cultura industrial que possuem valor histórico, tecnológico, social, arquitectónico ou científico. Estes vestígios englobam edifícios e maquinaria, oficinas, fábricas, minas e locais de processamento e de refinação, entrepostos e armazéns, centros de produção, transmissão e utilização de energia, meios de transporte e todas as suas estruturas e infra-estruturas, assim como os locais onde se desenvolveram actividades sociais relacionadas com a indústria, tais como habitações, locais de culto ou de educação (TICCIH, 2003).

1.1.3 Intervenção Humana

Com o progresso da civilização, o Homem desenvolveu muitas tecnologias mas raramente apreendeu a necessidade de preservar uma das coisas mais importantes para a sua sobrevivência, o solo. Paradoxalmente, as maiores conquistas do ser humano, conduziram, grande parte das vezes, à destruição dos recursos naturais (Meadows *et al.*, 1972).

A população, produção de alimento, industrialização, consumo de recursos naturais e poluição aumentam significativamente todos os anos. O aumento total por ano segue um padrão matemático – o crescimento exponencial. Praticamente todas as actividades humanas, desde a agricultura e o uso de fertilizantes à expansão urbana, podem ser representados por uma curva de crescimento exponencial (Meadows *et al.*, 1972).

Podemos associar a situação actual com um enigma descrito no livro “The Limits to Growth” que ilustra o crescimento exponencial e a sua importância (Meadows *et al.*, 1972).

Suponhamos que se tem um pequeno tanque onde cresce um nenúfar. O nenúfar vai aumentar o dobro do seu tamanho todos os dias. Se esta planta pudesse crescer sem controlo, ocuparia toda a área do tanque em trinta dias, impedindo assim que as outras espécies aquáticas vingassem. Durante determinado tempo, o nenúfar parece não crescer significativamente, por isso não se dá muita importância às suas dimensões e à área que poderá ocupar, até ao dia em que ocupa metade da área total do tanque. Em que dia vai isso acontecer? No penúltimo dia, claro. Tem-se assim apenas um dia para salvar o tanque. É basicamente isto que acontece com as alterações climáticas e ambientais. Como não apresentam mudanças visíveis e imediatas durante muito tempo, não se dá a devida importância, não se controla o seu crescimento. E quando é que nos vamos aperceber da realidade? Quando atingirmos níveis de poluição tão drásticos que já será quase tarde demais. Vamos então ter ‘um dia para salvar’ as condições favoráveis ao ser humano no planeta Terra.

1.1.3.1 Abordagens à Intervenção do Homem

Em 1977 é publicado um livro (Cunningham, 1977) que reúne textos com os ideais de S. Francisco de Assis, em que começa por descrever uma conversa entre Lynn White com Aldous Huxley, em que este último lamenta a maneira agressiva com que o ser humano trata a Natureza e os consequentes resultados dessa relação. O tema baseava-se na premissa de que todos temos um papel na mudança do ambiente, pessoas, animais, vegetação, todas as formas de vida – “all forms of life modify their context” (Cunningham, 1977). White acreditava que a relação do Homem com o Ambiente sempre foi dinâmica e interactiva, surgindo no Ocidente e na Idade Média as raízes da grande alteração, mas tendo a Revolução Industrial como ponto de viragem crítica na história da Ecologia (White, 1967).

Este autor sugere também que este modo de pensar da Era Industrial, em que a Terra é um recurso natural que serve para ser explorado e consumido pelo ser humano, é mais antigo que a industrialização, tendo as suas raízes no Cristianismo e nas então atitudes em relação à natureza (White, 1967).

Para White (1967), a atitude das pessoas para com a Ecologia depende do que pensam sobre elas próprias em relação ao que as rodeia, argumentando que o Cristianismo faz uma diferenciação entre o Homem, criado à imagem de Deus, e o resto das formas de vida, onde estas, por não possuírem “alma” ou “propósito” são seus inferiores. O autor acreditava que este tipo de pensamento levou a uma indiferença em relação à Natureza, e que continua a ter impactos neste mundo industrial onde vivemos, embora o Papa Francisco tenha recentemente publicado a encíclica ‘Laudato si’, que tem como temática central a ecologia. Aquando da divulgação e publicação deste documento declarou que “em grande parte, é o ser humano, que dá chapadas à natureza, quem tem responsabilidade nas alterações climáticas. De certa forma, tornamo-nos donos da natureza, da mãe Terra”, alertou o Papa, para quem “o Homem foi longe demais”. Isto é a prova de que a Igreja, perante a magnitude

dos problemas ecológicos, foi obrigada a rever a sua posição e a reconhecer o Homem como parte do mundo natural, e não apenas o seu explorador, lembrando “que a relação dos homens com a natureza” não deve ser “guiada pela cobiça, pela manipulação e a exploração” mas que deve conservar “a harmonia divina entre as criaturas e o criado, na lógica do respeito e do cuidado”.

Toda esta posição da Igreja é de considerável importância pois existem milhões de cristãos no mundo, podendo influenciar decisões futuras.

Desde há muito tempo que estas preocupações ambientais se mantêm.

É impossível não se ter uma sensação de *deja vu* quanto às mesmas preocupações, as previsões ambientais, são as mesmas que se ouvem agora nos dias que correm. O consumo excessivo de combustíveis fósseis ameaça mudar as características da atmosfera, com consequências que estamos apenas a começar a entender a sua gravidade. Com o crescimento populacional, o urbanismo sem planos, os novos depósitos de resíduos (particularmente lixo urbano), é certo que mais nenhuma outra criatura além do ser humano conseguiu conspurcar o seu "ninho" desta forma (White, 1967).

Ao longo dos últimos anos, o conceito de “nave espacial”, descrita pela primeira vez por Henry George em *Progress and Poverty* (1879) que descreve a preocupação sobre a utilização dos recursos disponíveis na Terra, encorajando todos a agir harmoniosamente entre si em função de um bem maior, tem proporcionado a muitas pessoas uma consciencialização sobre os recursos limitados e as relações complexas das quais o Homem depende para a sua sobrevivência. Esta tomada de consciência vem acompanhada por preocupações relacionadas com os impactes que o Homem tem no Ambiente.

1.2 EXPLORAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS

1.2.1 Explorações Mineiras

Mina, s. f. (do lat. *mina*). *Mil.* Cavidade ou veio artificial no seio da Terra donde se extraem quaisquer substâncias líquidas ou sólidas (Machado, 1981).

A humanidade tem explorado os recursos mineiros como o carvão e outros minérios metálicos desde a Idade do Bronze; por exemplo, o chumbo e o cobre foram extraídos em escala industrial desde a ocupação Romana na Europa. A produção de metais a partir de minérios atingiu o seu pico no séc. XVIII e XIX após a revolução industrial, quando a procura de minérios de carvão e de metais estava no seu máximo. Como resultado, existem milhares de locais de exploração mineira abandonados e outros ainda em funcionamento (Johnston *et al.*, 2008).

A exploração mineira é caracterizada pelo conjunto de actividades socioeconómicas realizadas de modo a obter e aproveitar os recursos de uma mina (jazida mineral). É uma actividade que, como o nome indica, explora os recursos minerais, de onde se extrai o minério do solo, ou subsolo, sendo também responsável pelo seu tratamento e transformação, podendo ser subterrânea ou a céu aberto,

a partir de perfurações ou sistemas hidráulicos. A exploração é subterrânea quando as escavações realizadas para a exploração do minério não estão em contacto com o ar livre mas sim em níveis do subsolo e é a céu aberto quando as escavações realizadas para a exploração do minério estão em contacto com o ar livre, como é o caso das pedreiras e de algumas minas a céu aberto. A exploração por perfuração acontece quando o jazigo, embora subterrâneo, é explorado sem necessidade de se abandonar a superfície, por exemplo a partir de sondagens, como é o caso de algumas explorações de minerais uraníferos, sal-gema, petróleo, etc. A exploração hidráulica, que pode ser tanto subterrânea como a céu aberto, consiste em utilizar a força hidráulica (essencialmente água) nas frentes de trabalho para o desmonte do minério. O método de lavra pode ser definido como o conjunto de processos utilizados e de soluções adoptadas para a remoção da substância útil contida numa fracção de jazigo (IGM, 1999).

A acumulação de resíduos provenientes da actividade mineira tem como consequência a sua deposição na superfície - escombreyras. Estas representam consequências negativas para o ambiente, afectando a qualidade de vida das populações locais. A formação destas escombreyras contribui para alterar a paisagem através da remoção da vegetação, o que afecta consequentemente a biodiversidade do local (Gonçalves, 2016). Deste modo, a protecção ambiental destas áreas, além de obrigatório, é cada vez mais importante e urgente.

1.2.2 Impactes Ambientais

1.2.2.1 Encerramento e Abandono - Efeitos da Actividade Mineira

A maioria das minas existentes no mundo encontra-se em situação de abandono, testemunhando com as suas ruínas, períodos não muito distantes em que a actividade extractiva de minérios metálicos se desenvolvia (Matos e Martins, 2006). A maioria destas explorações mineiras abandonadas não possui estruturas adequadas de modo a minimizar o impacte ambiental (Laneiro, 2012).

As estruturas abandonadas num grande número de áreas mineiras, em particular aquelas onde o minério explorado estava associado a sulfuretos, estão sujeitas a degradação que ocorre como consequência das reacções químicas associadas à presença de materiais ricos em sulfuretos que permanecem nestes locais, mesmo após vários anos (Abreu *et al.*, 2010). Um dos riscos ambientais mais preocupantes está relacionado com as escombreyras que resultam ou resultaram de uma intensa actividade. A contaminação por metais e metalóides é particularmente importante nos casos em que ocorre drenagem ácida a partir de sulfuretos contidos nas escombreyras (Abreu *et al.*, 2010; Gonçalves, 2016).

A drenagem ácida é um processo comum nas áreas mineiras da Faixa Piritosa Ibérica (FPI), que resulta da interacção dos sulfuretos presentes nas rochas ou nas escombreyras com o ar e a água, os quais são oxidados libertando sulfato, ferro e elementos potencialmente tóxicos para o ambiente aquoso, gerando condições de pH muito baixas. A pirite, o sulfureto mais abundante da FPI, é meteorizado, na presença de água e de oxigénio e os iões de Fe(II) libertados são oxidados para

Fe(III) levando gradualmente a uma maior acidificação do meio, e posteriormente à precipitação de óxidos de ferro e/ou de outros minerais ricos em elementos potencialmente tóxicos (Abreu *et al.*, 2010; Lottermoser, 2010; Santos *et al.*, 2017).

Embora a actual legislação portuguesa garanta um encerramento das unidades mineiras adequado ao desenvolvimento sustentável, no passado o mesmo não aconteceu, o fecho destas unidades mineiras foi realizada sem os devidos cuidados e constitui por isso uma importante fonte de contaminação antrópica, capaz de criar alterações no meio ambiente desde as mais imperceptíveis até às que causam maior impacto sob o meio que as rodeia, sendo este problema bastante acentuado na região do Alentejo devido à existência da FPI, pois os minérios aí explorados são essencialmente sulfuretos, tal como referido acima, caracterizados pela sua instabilidade que podem dar origem a águas ácidas, libertando aquando do seu contacto, metais e metalóides potencialmente tóxicos tais como, As, Sb, Cd, Pb, Hg, Se, etc. (Candeias e Mirão, 2007).

1.2.2.2 Enquadramento Legal

De acordo com o Artigo 3º do Decreto-Lei nº 88/90, de 16 de Março, referente a Depósitos Minerais, “Consideram-se como depósitos minerais as ocorrências, de interesse económico, nomeadamente de substâncias minerais utilizáveis na obtenção de metais neles contidos, de substâncias radioactivas, carvões, grafites, pirites, fosfatos, amianto, talco, caulino, diatomite, barite, quartzo, feldspato, pedras preciosas e semipreciosas, que satisfaçam os requisitos do n.º1 do artigo 2.º do Decreto-Lei nº 90/90, de 16 de Março”.

Actualmente, a população humana está tão dependente da produção e distribuição dos recursos, consumindo cada vez mais a uma velocidade perturbante, que surge a necessidade de criar regulamentação que imponha limitações às reservas disponíveis e que optimize o seu uso; deste modo impôs-se ao Estado Português o estabelecimento de regras adequadas para um melhor esclarecimento dos direitos e deveres das entidades envolvidas, de forma a dar resposta, através de mecanismos legais, à problemática ambiental destas áreas.

Contudo, a legislação em vigor em Portugal não compreende todos os tipos de recursos aptos do ponto de vista económico. Também não existe um documento único, um artigo que autorize e declare a lei em vigor, existem sim um conjunto de diplomas específicos, na sua generalidade desactualizados. De acordo com o Decreto-Lei nº 90/90, de 16 de Março, “a necessidade da actualização deste normativo e, bem assim, da sua mais rigorosa sistematização é reconhecida por todos quantos detêm o conhecimento dos obstáculos colocados à indispensável avaliação das potencialidades existentes e ao melhor aproveitamento e valorização dos recursos”.

Conforme o Artigo 12º do Capítulo II das Disposições Gerais do Decreto-Lei nº 90/90, de 16 de Março, “deve ser assegurada a conveniente protecção dos recursos geológicos com vista ao seu aproveitamento”, o mesmo artigo declara que “a exploração e o abandono dos recursos geológicos ficam sujeitos à adequada aplicação das técnicas e normas de higiene e segurança e ao

cumprimento das apropriadas medidas de protecção ambiental e recuperação paisagística, nomeadamente as que constem de planos aprovados pelas entidades competentes”.

Ainda no mesmo artigo pode-se ler, “e não só no campo da optimização do uso dos recursos geológicos se reclama a presença do Estado. Também porque a actividade exploradora se configura como potencialmente conflitual com outros valores do património nacional comum, como seja a indispensável manutenção do equilíbrio ecológico, reclama-se, no que a ela concerne, uma procura contínua das soluções mais adequadas” (Decreto-Lei n.º 90/90 de 16 de Março do Ministério da Indústria e Energia).

Relativamente ao encerramento e abandono das explorações mineiras, a actual legislação declara que após a actividade, as entidades a cargo da exploração continuam a ter responsabilidades, ou seja, “o concessionário, ainda quando autorizada a suspensão de exploração, manter-se-á responsável pela conservação das instalações essenciais da exploração devendo, nessa conformidade, adoptar todas as medidas que para tal se configurem necessárias”, como estabelece o ponto 5 do Artigo 28º do Decreto-Lei 90/90 de 16 de Março.

No mesmo Decreto-Lei, a alínea d) do Artigo 24º do Capítulo I dos Direitos sobre Recursos do Domínio Público declara ainda que esses concessionários devem “cumprir as normas e medidas de higiene e segurança do trabalho e protecção ambiental aplicáveis, ainda quando seja extinta a concessão”.

O Decreto-Lei n.º 198-A/2001, de 6 de Julho, estabelece o regime jurídico de concessão do exercício da actividade de recuperação ambiental das áreas mineiras degradadas. O reconhecimento da gravidade da situação e da urgência em encontrar meios adequados de reposição do equilíbrio ambiental de áreas sujeitas à actividade mineira, designadamente aquelas que hoje se encontram em estado de degradação e abandono, constitui um importante fundamento da presente iniciativa legislativa (Decreto-Lei n.º 198-A/2001 de 6 de Julho do Ministério da Economia).

Tendo presente a recuperação das áreas degradadas no território nacional como um dever fundamental do Estado, é necessário definir os objectivos e os princípios que deverão orientar a recuperação e monitorização ambiental das áreas mineiras degradadas, a fim de assegurar a preservação do património ambiental do País, tarefa que é de reconhecido interesse público (Decreto-Lei n.º 198-A/2001 de 6 de Julho do Ministério da Economia).

Existem entidades habilitadas a assegurar a respectiva gestão técnica, administrativa e financeira, como é o caso das empresas públicas que actuam no sector mineiro e que pertencem ao grupo EDM - Empresa de Desenvolvimento Mineiro, SGPS, empresa *holding* que representa os interesses do Estado no referido sector (Decreto-Lei n.º 198-A/2001 de 6 de Julho do Ministério da Economia).

Nos termos da alínea a) do n.º 1 do artigo 198.º da Constituição, o Governo decretou para “áreas mineiras degradadas, entendendo-se como tais as áreas mineiras que constituam um factor de risco

potencial para a saúde humana ou para a preservação do ambiente que justifique a intervenção do Estado” que se deve: a) Eliminar, em condições de estabilidade a longo prazo, os factores de risco que constituam ameaça para a saúde e a segurança pública, resultantes da poluição de águas, contaminação de solos, resíduos de extracção e tratamento e da eventual existência de cavidades desprotegidas; b) Reabilitar a envolvente paisagística e as condições naturais de desenvolvimento da flora e da fauna locais, tendo como referência os habitats anteriores às explorações; c) Assegurar a preservação do património abandonado pelas antigas explorações, sempre que este apresente significativa relevância, quer económica, quer em termos de testemunhos de arqueologia industrial; d) Assegurar as condições necessárias para o estudo, preservação e valorização de vestígios arqueológicos, eventualmente existentes, relacionados com a actividade mineira; e) Permitir uma utilização futura das áreas recuperadas, em função da sua aptidão específica, em cada caso concreto, designadamente para utilização agrícola ou florestal, promoção turística e cultural, além de outros tipos de aproveitamento que se revelem adequados e convenientes” (Decreto-Lei n.º 198-A/2001 de 6 de Julho do Ministério da Economia).

1.3 ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO

1.3.1 Contaminação de Solos por Metais e Metalóides

As principais fontes de contaminação de metais no solo são as actividades de fundição e mineiras, combustão de combustíveis, práticas agrícolas, actividades industriais e depósitos de lixo. A primeira fonte referida destaca-se pela sua importância histórica, por causar várias situações de poluição em vários países e por ser a fonte de todos os metais e metalóides considerados mais problemáticos em termos de poluição ambiental e toxicidade (Sánchez e Ayuso, 2008).

Os metais são elementos mais ou menos maleáveis, dúcteis, bons condutores de calor e de electricidade. Os metalóides são elementos com propriedades intermédias entre os metais e os não-metais (Ribeiro, 2005), como é o caso do As e do Sb. Constituem um grupo de elementos químicos prejudiciais e os mais comumente encontrados em locais contaminados são o Pb, Cr, Zn, Cd, Cu, Hg e Ni (Wuana e Okieimen, 2011).

Os efeitos adversos dos metais nas áreas mineiras estão relacionados com o facto da sua transferência para a cadeia trófica, através do solo para as plantas e das plantas para os animais e humanos (Agnieszka *et al.*, 2014).

Os solos são caracterizados por possuírem a capacidade de imobilizar elementos potencialmente tóxicos libertados no meio pelas acções antrópicas, e ao contrário do que acontece com os poluentes orgânicos, que são mineralizados por acção microbiana libertando dióxido de carbono, os metais não sofrem degradação química (Wuana e Okieimen, 2011), fazendo com que a sua concentração total nos solos persista por um longo período de tempo após a sua introdução (Wuana e Okieimen, 2011).

Para uma adequada protecção e restabelecimento dos ecossistemas com solo contaminado por metais/metaloídes, deve-se fazer uma análise detalhada das suas características para uma melhor definição do processo de remediação a ser aplicado (Wuana e Okieimen, 2011).

1.3.2 Medidas de Actuação Sobre a Paisagem Afectada

Existem várias técnicas de remediação de solos contaminados (Fig. 1), nomeadamente com metais e metalóides. Estas técnicas podem dividir-se em três grupos: 1) **Medidas de contenção** que incluem técnicas de cobertura, isolamento, encapsulamento e imobilização através de solidificação e estabilização do solo; 2) **Medidas de descontaminação**, com base na remoção dos contaminantes. Este grupo inclui procedimentos mecânicos, tecnologias físico-químicas, assim como a lavagem do solo, com ou sem lixiviação ou precipitação dos elementos potencialmente tóxicos, tratamentos térmicos e electrocinéticos. 3) **Abordagens biológicas**: biorremediação e fitorremediação (Bech *et al.*, 2013).

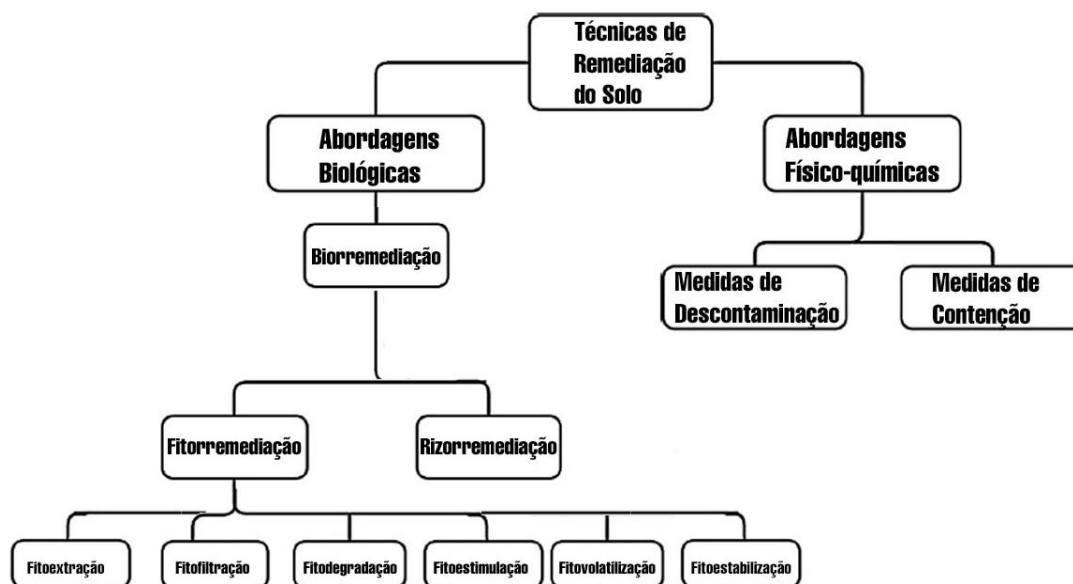


Fig. 1 Técnicas de remediação de solos contaminados (ad. Ullah *et al.*, 2015).

1.3.2.1 Medidas de Contenção

As medidas de contenção consistem em técnicas de remediação que impedem o contacto entre solos contaminados e as pessoas e/ou ambiente, tentando prevenir a sua migração. Não é considerado um procedimento final mas pode ser utilizado para prevenir a exposição ou difusão dos contaminantes. A escolha destas técnicas é comum em casos em que é necessária uma resposta rápida. Os métodos mais utilizados incluem o uso de barreiras laterais, o encapsulamento e cobertura da superfície do solo (Bech *et al.*, 2013).

Cobertura de Superfície

Consiste na aplicação de camadas de solo descontaminado ou no uso de revestimentos sintéticos tais como geomembranas, argilas, betão, colocados na superfície do solo contaminado ou de aterros sanitários (Fig. 2). A complexidade do tipo de cobertura vai depender da contaminação por elementos potencialmente tóxicos, propriedades do solo, topografia e condições climáticas da área contaminada. O objectivo desta técnica é o de impedir o contacto entre pessoas e ecossistemas com a área contaminada. A cobertura de solos pode ser feita maioritariamente através de três tipos de processos: revestimento superficial, revestimento do solo e revestimento e isolamento do solo (Bech *et al.*, 2013).

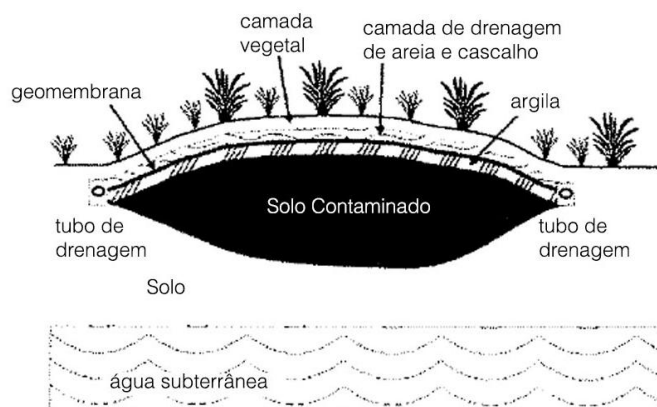


Fig. 2 Técnica de remediação do solo através do método de cobertura de superfície, com o uso de várias camadas (ad. Bech *et al.*, 2013).

Barreiras Laterais

A técnica referida anteriormente apenas protege a área contaminada da entrada da água da chuva nos resíduos e o possível contacto dos elementos potencialmente tóxicos com as pessoas e ecossistemas, não conseguindo impedir o fluxo horizontal dos elementos do solo contaminado (Bech *et al.*, 2013).

Para impedir este fluxo, recorre-se à construção de barreiras verticais (VEB) e outras estruturas de engenharia (Fig. 3), de maneira a impedir a migração das substâncias contaminantes (USEPA, 2012; Wuana e Okieimen, 2011) actuando como revestimentos subjacentes, sem que seja necessária escavação (Bech *et al.*, 2013). No entanto, já têm ocorrido problemas com a compactação do solo e com a construção destes poços verticais, devido à possibilidade de aumentarem a migração dos contaminantes (Bech *et al.*, 2013).

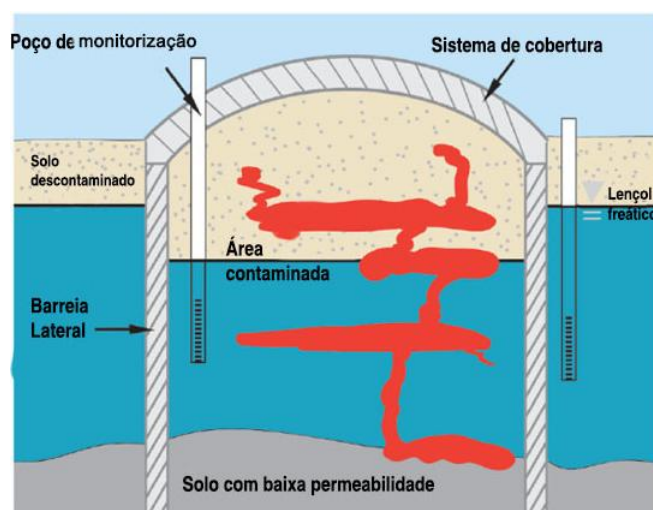


Fig. 3 Ilustração de uma medida de contenção através de um sistema de construção de barreiras verticais em torno de uma área contaminada (ad. USEPA, 2012).

Encapsulamento

O encapsulamento ou isolamento é uma abordagem que consiste numa impermeabilização completa da área contaminada através do uso de barreiras ou isolamento da cobertura do solo. É utilizada quando a parte inferior do solo contaminado está localizado abaixo do lençol freático ou quando a distância entre a camada inferior do solo contaminado e as águas subterrâneas é curta (Bech *et al.*, 2013).

Esta técnica tem como vantagem, em relação ao uso de barreiras laterais, o facto de ser uma protecção mais segura do solo contaminado. No entanto, é uma técnica cara e problemática em termos de verificação da total impermeabilidade do solo, além de que o uso desta técnica necessitaria de um monitorização a longo prazo, podendo também ocorrer a formação de gases (Bech *et al.*, 2013).

Estabilização do Solo

A estabilização ou fixação é uma técnica de remediação que não destrói ou remove os contaminantes do solo, mas reduz a sua mobilidade, toxicidade e disponibilidade através do uso de correctivos, que podem ser inorgânicos ou orgânicos. Normalmente, esta é uma técnica *in situ*, pois os metais e metalóides permanecem no solo apesar de sob formas menos tóxicas (Bech *et al.*, 2013).

Estão incluídos nos **correctivos inorgânicos** os compostos de ferro, hidróxidos de alumínio, fosfatos, resíduos com carbonatos, zeólitos, cinzas, etc. (Bech *et al.*, 2013). Em termos de **correctivos orgânicos**, estes são maioritariamente resíduos ou derivados. Um dos resíduos mais usados são as lamas de ETAR, resultado de processos de tratamento de águas residuais, utilizados como biossólidos. O uso destes resíduos biodegradáveis pode no entanto dar origem a preocupações relacionadas com a libertação dos seus próprios elementos potencialmente tóxicos, mas não deixa de

ser uma possível opção para a recuperação de áreas contaminadas uma vez que as concentrações destes elementos são menores do que as encontradas nas áreas industriais e mineiras. Existem ainda outros tipos de correctivos orgânicos, como é o caso de bagaço de algodão, arroz, milho, casca de arroz, palha de cana-de-açúcar, águas residuais de fábricas de papel, resíduos industriais, florestais e agrícolas (Bech *et al.*, 2013).

De acordo com Brown *et al.* (2003), o uso de materiais residuais, especificamente biossólidos municipais, para a recuperação de solos mineiros é uma prática com muitos anos, tendo tido sucesso em muitos locais, excedendo os vinte cinco anos de durabilidade (Haering *et al.*, 2000). Actualmente, para o uso em locais contaminados por metais e com valores de pH ácido, os biossólidos devem ser combinados com resíduos convencionais de calcário ou com equivalente de carbonato de cálcio de modo a serem altamente eficazes para a restauração destas áreas (Brown *et al.*, 2003).

Os *vermicompostos*, também conhecidos por húmus de minhoca ou estrume de minhoca, que resultam dos dejectos das próprias, apresentam excelentes propriedades como correctivos orgânicos, dado que para além do elevado teor de matéria orgânica já com um determinado grau de humificação, contêm macro e micronutrientes, no equilíbrio exigido pela grande maioria dos condicionalismos agro-climáticos e culturais (Quelhas dos Santos, 2002). Estudos em laboratórios também indicaram que a adição de biossólidos alcalinos aos rejeitos das minas pode permitir a sobrevivência de uma espécie de minhoca - *Eisenia fetida* - o que se traduz numa melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas daqueles materiais (Brown *et al.*, 2003).

1.3.2.2 Medidas de Descontaminação

São processos de tratamento de redução do volume ou minimização dos resíduos. Pode ser realizado *ex situ* ou *in situ*, no entanto, quando se fala em lavagem do solo, refere-se às técnicas aplicadas *ex situ* que incluem procedimentos físicos e químicos de extracção dos contaminantes metálicos dos solos (Wuana e Okieimen, 2011).

Lavagem Química

Os tratamentos químicos baseiam-se em reacções redox e utilizam-se para alterar a mobilidade e toxicidade dos elementos potencialmente tóxicos. A oxidação *in situ* utiliza agentes oxidantes tais como o permanganato de potássio, peróxido de hidrogénio e dióxido de cloro.

Lavagem do solo

A lavagem do solo é um tratamento de minimização da concentração de metais e metalóides através da separação física, seguido normalmente de uma extracção química (Wuana e Okieimen, 2010; Bech *et al.*, 2013). Durante o processo de tratamento, as partículas de solo que contêm a maioria dos contaminantes são separadas das restantes fracções do solo e os contaminantes são removidos por soluções aquosas e recuperados num substrato sólido ou através da combinação de ambos. Ao

remover a maioria dos contaminantes, a fracção volumétrica que permanece pode ser reciclada no local podendo ser tratada como um inerte de preenchimento, usada em outro local como enchimento, ou descartada, a um preço de produção relativamente baixo, como material não perigoso. Apesar de esta técnica oferecer a capacidade de reduzir ou remover os contaminantes do solo a longo prazo e assegurar a rápida limpeza do local, tem a desvantagem de os contaminantes serem apenas transportados para outro sítio, onde vai ser necessária a sua supervisão (Wuana e Okieimen, 2011).

Existe ainda outro processo *in situ* de lavagem do solo, que remove os contaminantes do solo através do uso de água com aditivos, injectados a alta pressão, de maneira a aumentar a solubilidade do contaminante. Os contaminantes presentes nas descargas de águas residuais são canalizados para uma área onde são capturados e bombeados para a superfície, através de poços de extracção de águas subterrâneas (Bech *et al.*, 2013).

Remediação Térmica

O tratamento térmico consiste no aquecimento *in situ* do solo contaminado. O calor é aplicado directamente no subsolo para que as áreas contaminadas e os químicos potencialmente tóxicos se possam deslocar através do solo em direcção aos poços através dos quais irão ser bombeados para a superfície (Bech *et al.*, 2013).

São utilizadas três tratamentos neste processo, são eles: 1) extracção de vapor (Fig. 4), através da injeção de vapor subterrâneo que aquece a área contaminada, de modo a mobilizar e eventualmente evaporar os contaminantes; 2) aquecimento por microondas, tendo elevada eficácia na remoção de poluentes orgânicos de solos com baixa permeabilidade, como é o caso dos argilosos; 3) aquecimento por condução térmica, utilizando aquecedores localizados em tubos de aço subterrâneos.

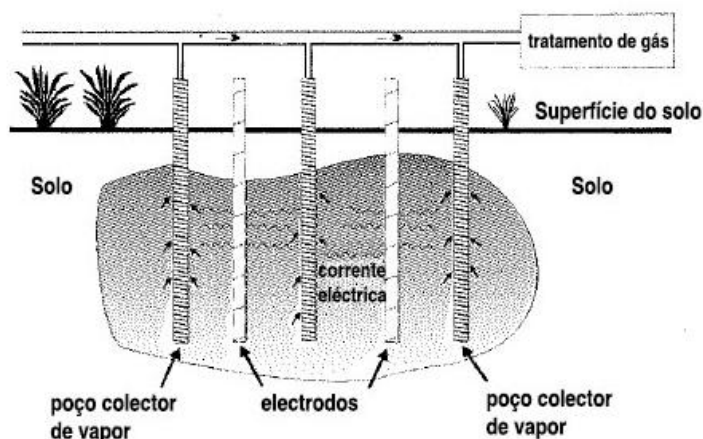


Fig. 4 Utilização de um tratamento térmico para um solo contaminado através da extracção de vapor (ad. Bech *et al.*, 2013).

Existem ainda os tratamentos térmicos *ex situ*, fazendo parte deles a separação física de partículas depositadas na superfície através do aumento de temperatura (dessorção térmica), processos pirometalúrgicos e a incineração (Bech *et al.*, 2013).

Remediação Electrocinética

Os tratamentos electrocinéticos consistem em técnicas de remediação para remoção de radionuclídeos, metais e metalóides, podendo ser aplicados a grandes profundidades do solo, através da passagem de corrente eléctrica de baixa intensidade entre um cátodo e um ânodo inseridos no solo contaminado. A maioria dos solos contém água nos poros entre as partículas, e por isso têm uma condutividade eléctrica intrínseca que resulta dos sais presentes no solo. A remediação electrocinética utiliza a corrente que mobiliza espécies electricamente carregadas, partículas e iões no solo (Bech *et al.*, 2013).

1.3.2.3 Técnicas de Remediação de Natureza Biológica

A remediação biológica utiliza plantas e microrganismos para remover ou imobilizar contaminantes tóxicos do ambiente. Esta é considerada uma das metodologias mais eficazes na remediação de solos contaminados com metais e metalóides devido ao facto de ser um processo natural, ambientalmente amigável e baixo custo. As técnicas de remediação biológica incluem a biorremediação, a fitorremediação, bio-estimulação, entre outras. Entre essas abordagens, a biorremediação e a fitorremediação são as mais utilizadas. Estes métodos possuem vantagens sobre os físico-químicos porque preservam as propriedades naturais do solo (Ullah *et al.*, 2015).

Biorremediação

A biorremediação pode ser definida como o uso de métodos biológicos para recuperar áreas contaminadas. Os objectivos desta técnica envolvem a degradação dos contaminantes orgânicos e a conversão dos contaminantes inorgânicos para espécies menos tóxicas (Bech *et al.*, 2013). Está dividida em fitorremediação e rizorremediação. A fitorremediação consiste na utilização de plantas e algas na remediação de solos e águas contaminadas, respectivamente. As suas estratégias principais são a fitoestabilização e a fitoextração (Singh *et al.*, 2012; Tripti *et al.*, 2018).

Fitorremediação

A fitorremediação refere-se à utilização de plantas para reabilitar os solos e as águas contaminadas através da absorção, extracção, imobilização ou degradação dos contaminantes (Abreu e Magalhães, 2009; Pilon-Smits, 2005; Pilon-Smits e Freeman, 2006; Singh *et al.*, 2012; Bech *et al.*, 2013; Mahar *et al.*, 2015; Gerhardt *et al.*, 2016; Sarwar *et al.*, 2016), minimizando os efeitos causados pelos elementos potencialmente tóxicos (Ullah *et al.*, 2015; Sarwar *et al.*, 2016). Esta técnica utiliza a capacidade inerente das plantas de absorver água, nutrientes e contaminantes através das suas raízes e da transpiração das folhas, actuando como um sistema de transformação que metaboliza os compostos orgânicos, ou adsorve e acumula os elementos potencialmente tóxicos (metais e

metalóides) (Abreu e Magalhães, 2009; Bech *et al.*, 2013). A fitorremediação é uma técnica mais acessível em termos económicos, sendo, em média, cerca de dez vezes mais barata do que as técnicas com base na engenharia (Abreu e Magalhães, 2009).

É possível encontrar uma grande variedade de espécies de plantas que podem colonizar áreas altamente poluídas com metais e metalóides como é o caso das escombreyras de minas e/ou solos degradados e contaminados por actividades mineiras e de outras indústrias. Estas são referidas como espécies metalófitas e pseudometalófitas (Favas *et al.*, 2014).

Alguns solos possuem altas concentrações de metais mas no entanto, em alguns casos, existem espécies vegetais que conseguem prosperar, devido à sua capacidade em absorver e acumular grandes quantidades destes metais, como é o caso das espécies pseudometalófitas, que apesar de não serem especializadas em solos metalíferos são capazes de sobreviver em solos deste tipo (Souza, 2010; Favas *et al.*, 2014). Deste modo, devido à capacidade de adaptação a estes ambientes e, eventualmente, à acumulação de metais e metalóides, a sua utilização pode ser interessante no que diz respeito à ecologia e à fitorremediação (Favas *et al.*, 2014; Pratas *et al.*, 2014). Actualmente são conhecidas cerca de 45 famílias de plantas acumuladoras de metais e metalóides (Revees e Baker, 2000), como por exemplo, *Aceraceae* (*Acer pseudoplatanus*), *Asteraceae* (*Leucanthemopsis alpina*), *Brassicaceae* (*Alyssum* sp. e *Thlaspi* sp), *Cistaceae* (*Cistus incanus* ssp. *creticus*), *Campanulaceae* (*Campanula scheuchzeri*), *Fabaceae* (*Anthyllis* sp. e *Trifolium pallescens*), *Plumbaginaceae* (*Armeria marítima* var. *halleri*), *Poaceae* (*Festuca ovina*) e *Saxifragaceae* (*Saxifraga* sp.). Estas plantas conseguem acumular As, Cu, Pb, Cd, Mn, Ni, Se, Zn, entre outros, até concentrações que vão de 100 a 1000 vezes os normalmente acumulados por plantas cultivadas sob as mesmas condições (Hooda, 2007).

As técnicas de fitorremediação incluem diferentes modalidades, tal como vantagens e desvantagens (Anexo A) dependendo da natureza e das propriedades químicas do elemento ou do composto contaminante, e também das características da planta (Pivetz, 2001; Piton-Smiths e Freeman, 2006; Mahar *et al.*, 2015). Apesar de ainda não se ter chegado a um consenso nas terminologias e definições dos vários processos de fitorremediação (Abreu e Magalhães, 2009), normalmente esta compreende seis estratégias diferentes: **fitoextração**, **fitoestabilização**, **fitodegradação**, **rizodegradação (fitoestimulação)**, **fitofiltração** e **fitovolatilização** (Fig. 5), sendo a fitoextração e fitoestabilização as mais usadas (Abreu e Magalhães, 2009; Chatterjee *et al.*, 2013; Mahar *et al.*, 2015; Sarwar *et al.*, 2016).

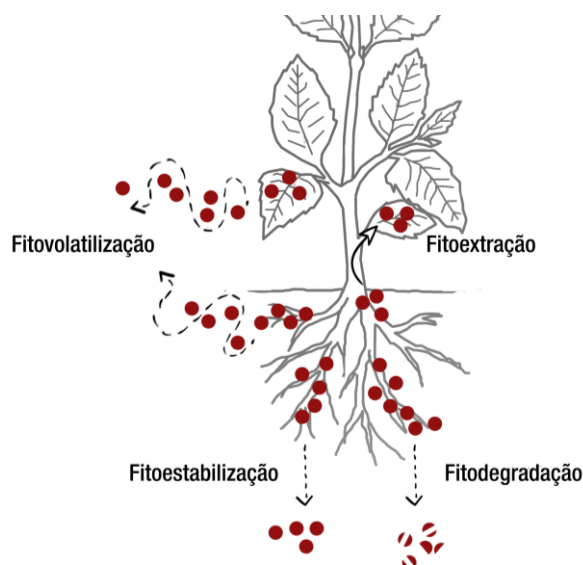


Fig. 5 Principais processos de fitorremediação (ad. Pilon-Smits e Freeman, 2006).

A **fitoextração**, ou também chamada de **fitoacumulação**, consiste na absorção dos contaminantes pelo sistema radicular das plantas seguido do transporte e acumulação dos mesmos na parte aérea da planta (Fig. 6), que pode ser colhida no fim do período de crescimento vegetal (USEPA, 2001; Pilon-Smits e Freeman, 2006; Chatterjee *et al.*, 2013; Mahar *et al.*, 2015). Aplica-se normalmente a metais como o Cd, Ni, Cu, Zn e Pb, mas também pode ser utilizada com metalóides como o As e Se, e componentes orgânicos. Esta técnica utiliza preferencialmente plantas hiperacumuladoras, que possuem a capacidade de armazenar altas concentrações de metais específicos nas suas partes aéreas (Paspaliaris *et al.*, 2009). É considerada uma técnica ediciente entre as várias de fitorremediação (Chatterjee *et al.*, 2013; Bech *et al.*, 2013; Sarwar *et al.*, 2016), no entanto o facto dos contaminantes se acumularem na parte aérea da planta é um dos muitos problemas que esta técnica representa. O problema da utilização de plantas acumuladoras é dar-lhes um destino, isto é, podem ser utilizadas para extrair determinados elementos do solo, concentrando esses elementos nos seus tecidos mas posteriormente o que acontece a essas plantas? Como se deve proceder para que não tenham implicações a outros níveis? Alguns investigadores desta área afirmam que esta técnica demonstrou não ser eficaz (Robinson *et al.*, 2015). Além dos custos elevados, existem outros factores a ter em conta, como é o caso da biomassa produzida que é por vezes retirada para redução de volume, e posteriormente queimada, representando um risco para o ambiente na medida em que os contaminantes irão ser libertados para a atmosfera. A utilização de algumas espécies vegetais também pode ser problemática, na medida em que estas podem acumular elevadas concentrações de elementos potencialmente tóxicos, e sua utilização para produtos de alimentação para os animais, pode ser prejudicial para a saúde destes e consequentemente, para a das pessoas.

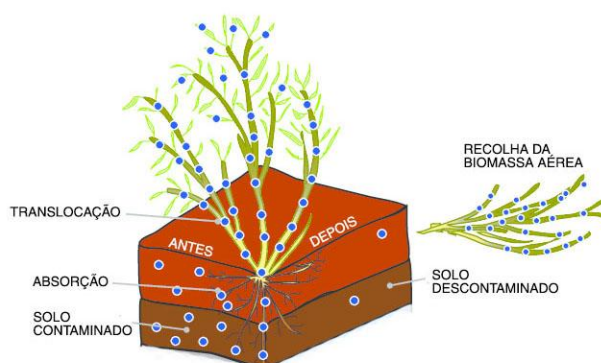


Fig. 6 Representação esquemática do processo de fitoextração (ad. Hénault-Ethier, 2016).

A **fitoestabilização**, também conhecida como **fito-imobilização**, consiste na utilização de plantas para reduzir a mobilidade e a biodisponibilidade dos contaminantes no solo (Fig. 7) (Pivetz, 2001; Bech *et al.*, 2013; Chatterjee *et al.*, 2013; Mahar *et al.*, 2015; Sarwar *et al.*, 2016). Nesta técnica de remediação, as plantas estabilizam os resíduos e impedem que estes sejam expostos à erosão eólica e hídrica, e reduzem a migração dos contaminantes para os solos adjacentes e para as águas superficiais e subterrâneas (Abreu e Magalhães, 2010; Jagdale e Chabuksaw, 2015). A imobilização dos contaminantes no solo é feita através da absorção pelas plantas e acumulação nas suas raízes, e da precipitação e complexação dos elementos químicos na zona da rizosfera (USEPA, 2001; Pilon-Smits e Freeman, 2006; Abreu e Magalhães, 2009; Paspaliaris *et al.*, 2009; Chatterjee *et al.*, 2013; Mahar *et al.*, 2015; Sarwar *et al.*, 2016), prevenindo a lixiviação e os processos erosivos do solo (Abreu e Magalhães, 2010; Rosa, 2013).

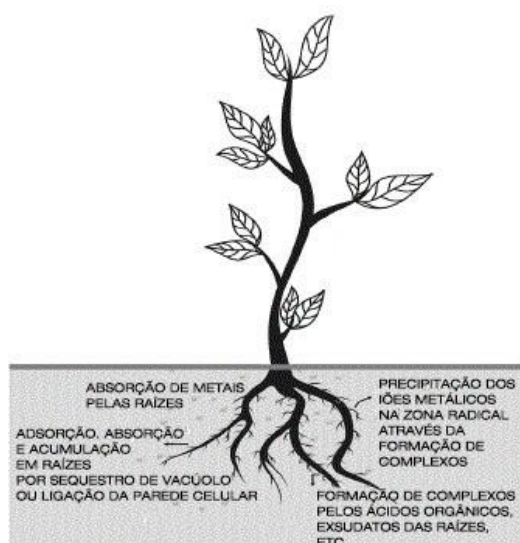


Fig. 7 Representação esquemática do processo de fitoestabilização (ad. Sheoran *et al.*, 2013).

Para a fitoestabilização de metais e metalóides, uma combinação entre árvores, arbustos e gramíneas pode oferecer melhores resultados. Por exemplo a utilização de árvores do género *Populus* com um bom sistema vascular que lhes permite um movimento rápido da água para a parte aérea e gramíneas como a família de plantas *Poaceae* que não acumulam tantos metais na sua parte aérea como acontece nas plantas dicotiledóneas, minimiza a exposição da fauna a elementos tóxicos (Bech *et al.*, 2013; Jagdale e Chabukswar, 2015). Estudos experimentais com gramíneas e leguminosas, como é o caso de *Andropogon gerardii* Vit. e *Festuca arundinacea* Schreb., demonstraram a importância das micorrizas e da adição de correctivos de resíduos orgânicos (fitoestabilização assistida) no estabelecimento de plantas nos resíduos de minas contaminadas com metais (Pivetz, 2001; Abreu e Magalhães, 2010; Mahar *et al.*, 2015).

Dependendo das características do solo, a adição de correctivos de baixo valor económico pode contribuir para o aumento de matéria orgânica, capacidade de troca catiónica, pH, teor de nutrientes, actividade microbiana e melhoria da estrutura do solo. Além de que a aplicação destes correctivos em conjunto com os processos fisiológicos das plantas podem diminuir a disponibilidade de elementos potencialmente tóxicos, imobilizando-os e assim favorecendo os processos de meteorização e pedogénese (Abreu e Magalhães, 2009). O principal objectivo da adição deste tipo de correctivos a solos contaminados não é alterar as concentrações totais dos elementos potencialmente tóxicos, mas reduzir a sua fracção disponível (Adriano *et al.*, 2004; Abreu e Magalhães, 2009).

A **fitodegradação**, também conhecida por **fitotransformação** (Fig. 8), envolve a transformação de moléculas orgânicas complexas em moléculas simples, através da degradação das mesmas, acabando por as incorporar nos tecidos vegetais (Jagdale e Chabukswar, 2015). De um modo geral, pode-se dizer que a fitodegradação é a absorção, a metabolização e a degradação dos contaminantes dentro dos tecidos vegetais ou a degradação dos contaminantes orgânicos no solo, sedimentos, lamas, águas subterrâneas ou superficiais, através de enzimas produzidas e libertadas pelas plantas (USEPA, 2001; Pilon-Smits e Freeman, 2006; Chatterjee *et al.*, 2013; Jagdale e Chabukswar, 2015).

Aquelas enzimas podem ser da família das *dehalogenases* cuja acção catalítica é hidrolisar o cloro e o flúor de hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos halogenados, que se podem encontrar por exemplo na espécie *Populus spp.*; a família das enzimas *laccases*, responsáveis pela degradação de vários compostos aromáticos, existem na espécie *Medicago sativa*; e a família das *nitroreductases*, que reduzem os grupos nitro de compostos nitro aromáticos, removendo o nitrogénio das estruturas cíclicas, podendo ser encontradas nas espécies *Salix spp.*, *Populus spp.*, entre outras (Rosa, 2013).

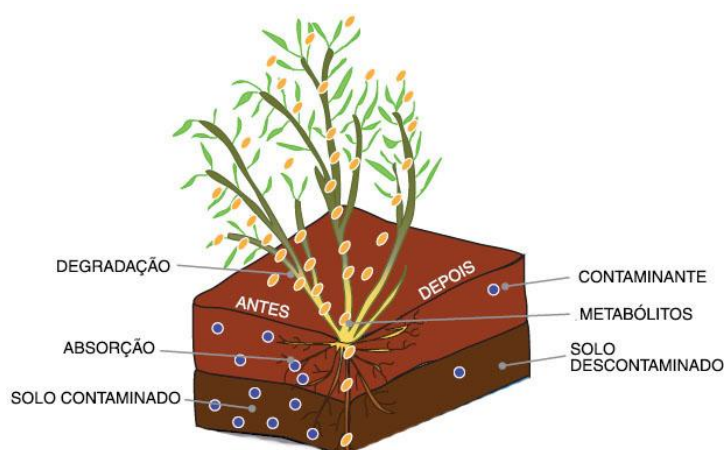


Fig. 8 Representação esquemática do processo de fitodegradação (ad. Hénault-Ethier, 2016).

No processo de **rizodegradação** ou **fitoestimulação**, o contaminante não é absorvido pela planta, a degradação ocorre ao nível da rizosfera (USEPA, 2001; Pilon-Smits e Freeman, 2006; Mahar *et al.*, 2015), (Fig. 9), através de um conjunto de interações entre a planta e os microrganismos que utilizam o carbono dos contaminantes orgânicos como fonte de energia (Ferreira, 2014). Esta é uma técnica de biorremediação através da actividade microbiana e dos fungos ao libertarem exsudados e enzimas na rizosfera (Chatterjee *et al.*, 2013; Jagdale e Chabukswar, 2015).

Esta técnica tem sido útil para a recuperação de ambientes contaminados por compostos orgânicos hidrofóbicos, os quais, por terem uma natureza que impede a sua absorção pela planta, podem ser degradados por microrganismos. A rizodegradação é uma técnica que degrada os contaminantes orgânicos através de processos *in situ*, com custos baixos de instalação e manutenção e sem limitações climáticas importantes (Mejía *et al.*, 2014).

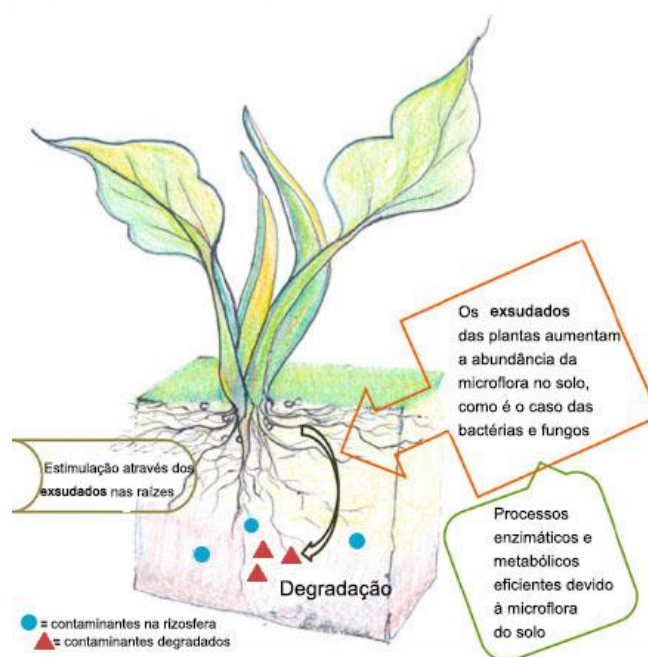


Fig. 9 Representação esquemática da fitoestimulação onde os exsudados das plantas estimulam a microflora na rizosfera de modo a degradar os contaminantes orgânicos (ad. Chatterjee *et al.*, 2013).

A libertação de exsudados radiculares promove a proliferação dos microrganismos que atuam na degradação do composto orgânico no solo devido ao facto dos fungos heterotróficos e bactérias utilizarem esses metabolitos exsudados como fonte de carbono e energia (Paspaliaris *et al.*, 2009; Ferreira, 2014).

A **fitofiltração** ou **rizofiltração** utiliza as plantas para absorver, concentrar e/ou precipitar os contaminantes, especificamente metais e elementos radioactivos de meios aquosos através do seu sistema radicular (Chatterjee *et al.*, 2013), (Fig. 10). As plantas são mantidas num sistema hidropónico pelo qual os efluentes passam e são filtrados pelas raízes (Pilon-Smits e Freeman, 2006; Mazzuco, 2008; Chatterjee *et al.*, 2013).

As plantas com maior tolerância a contaminantes e maior capacidade de absorção e acumulação (hiperacumuladoras aquáticas) são as mais indicadas para este processo, tais como as espécies *Helianthus annuus*, *Brassica juncea*, *Phragmites australis*, *Fontinalis antipyretica* e várias espécies de *Salix*, *Populus*, *Lemna* e *Callitriche* (Chatterjee *et al.*, 2013; Favas *et al.*, 2014).

Este método é particularmente eficaz em situações com elevado volume de água e baixa concentração de contaminantes, sendo por isso aplicável a águas contaminadas com radionuclídeos (Chatterjee *et al.*, 2013).

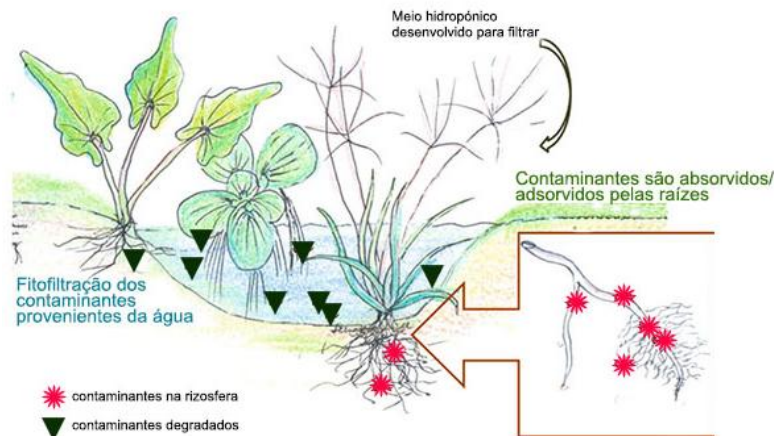


Fig. 10 Representação esquemática da fitofiltração, utilizando as raízes das plantas para absorver os contaminantes em meios aquosos (ad. Chatterjee *et al.*, 2013).

A **fitovolatilização** consiste, após a absorção e incorporação dos poluentes no tecido da planta, na sua conversão para a sua forma volátil e consequente libertação através das folhas e das raízes (Fig. 11), oferecendo desta forma a possibilidade de remoção completa do contaminante sob a sua forma gasosa (Pilon-Smits e Freeman, 2006; Ferreira, 2014; Mahar *et al.*, 2016; Sarwar *et al.*, 2016). Os contaminantes absorvidos e metabolizados podem depois ser libertados em formas menos tóxicas, e uma vez na atmosfera, podem sofrer processos como a fotodegradação (Ferreira, 2014). É necessário ter em atenção os níveis e as propriedades tóxicas dos vapores ou gases libertados por esta técnica, pois a partir do momento em que entram na atmosfera podem constituir um factor de risco ambiental (Ferreira, 2014).

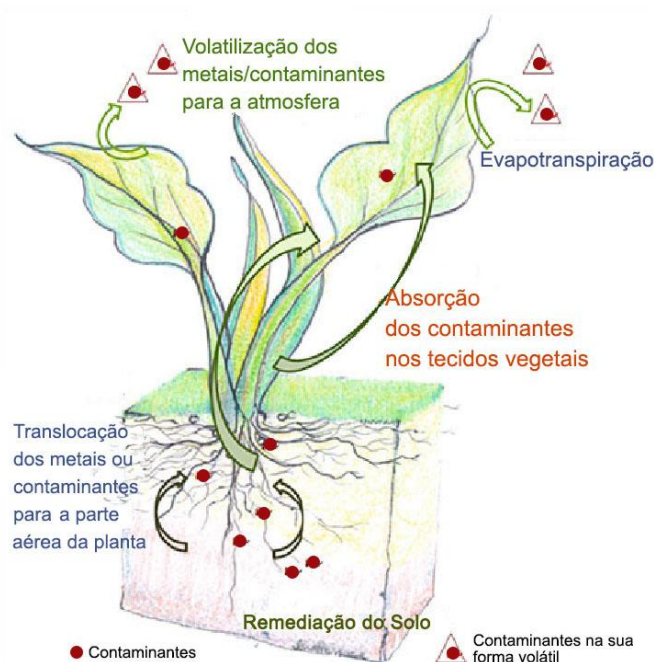


Fig. 11 Representação esquemática da fitovolatilização onde os metais são volatilizados através do processo de evapotranspiração das plantas (ad. Chatterjee *et al.*, 2013).

Vantagens e Desvantagens da Fitoestabilização

As vantagens da fitoestabilização passam pelo facto de ser economicamente viável, menos perturbadora para o ambiente, não são necessários locais para armazenamento das plantas, é esteticamente mais agradável do que os métodos tradicionais, evita a escavação e o transporte de solos/materiais poluídos, reduzindo assim o risco de dispersão de contaminantes e tem potencial para recuperar locais com mais do que um tipo de contaminante (Abreu e Magalhães, 2009). Em termos de desvantagens, estas incluem a dependência das condições de crescimento exigidas pela planta (clima, propriedades do solo/escombreira, temperatura), o sucesso da planta depende da tolerância desta ao contaminante (Wuana e Okieimen, 2011).

Uma das metas que se tenta alcançar é o desenvolvimento de plantas geneticamente modificadas com maior capacidade de acumulação de metais mas em que a acumulação apenas se realize nas raízes. Desta forma poderá haver uma redução do movimento dos metais ao longo da cadeia alimentar e também uma diminuição de metais nas folhas das plantas (Chaney *et al.*, 1997).

A solução para os atuais problemas de contaminação de solos poderá estar na combinação de diferentes técnicas de remediação, pois nenhuma tecnologia por si só é universalmente aplicável com a mesma taxa de sucesso a todos os tipos de contaminantes e em todos os locais contaminados, sobretudo naqueles em a fonte de contaminação deriva de mais de um tipo de contaminante. Deste modo, dever-se-á aplicar mais de uma técnica de remediação para resolver eficazmente o problema de contaminação.

1.3.3 Utilização de Micorrizas Arbusculares

As micorrizas estabelecem associações simbióticas com as plantas através das raízes. Os fungos micorrízicos e a planta hospedeira geralmente vivem em associação íntima a partir da qual ambos retiram benefícios. Os fungos micorrízicos são heterotróficos e obtêm todas as suas necessidades de carbono e energia directamente das suas plantas hospedeiras, em troca, os simbiontes micorrízicos fornecem os nutrientes absorvidos do solo (Javaid, 2007).

Em algumas espécies vegetais, a tolerância a metais através do uso de micorrizas arbusculares constitui um exemplo de bioacumulação e bioadsorção, incluindo mecanismos de intercâmbio, formação de complexos, coordenação, adsorção, interacção electrostática, quelação e precipitação, actuando individualmente ou simultaneamente (Aguirre *et al.*, 2001).

As plantas e os fungos desenvolveram estratégias para a obtenção de nutrientes do solo com diferentes composições, utilizando por isso diferentes mecanismos de absorção de metais, de modo a prevenir a toxicidade, coordenar o transporte e fazer a quelação. As raízes das plantas desenvolveram então mecanismos capazes de modificar o ambiente envolvente através da exsudação de compostos orgânicos, criando um substrato rico para a comunidade microbiana que as rodeia, melhorando a actividade microbiana e aumentando a disponibilidade de nutrientes presentes no solo, envolvendo a quelação e a acidificação da rizosfera, o que faz com que haja uma diminuição da mobilidade dos metais e metalóides (Aguirre *et al.*, 2011).

As micorrizas arbusculares representam o tipo mais frequente de micorrizas. Estas formam-se através de fungos do filo *Glomeromycota*, em simbiose com uma variedade de plantas vasculares, incluindo a maior parte das herbáceas mas também com espécies arbóreas como é o caso das espécies da família *Salicaceae* (Langer, 2011).

As micorrizas arbusculares (MA) beneficiam o crescimento e a estabilização das plantas de diversas formas (Fig. 12), aumentando também a eficiência do uso da água através de uma maior eficiência na absorção do N e do P (Arriagada e Herrera, 1999). Há indícios de que as MA conseguem diminuir a acumulação de metais nas plantas em solos contaminados. Plantas inoculadas com MA contêm baixas de concentração de Cu, Zn, Cd e Mn (Arriagada e Herrera, 1999).

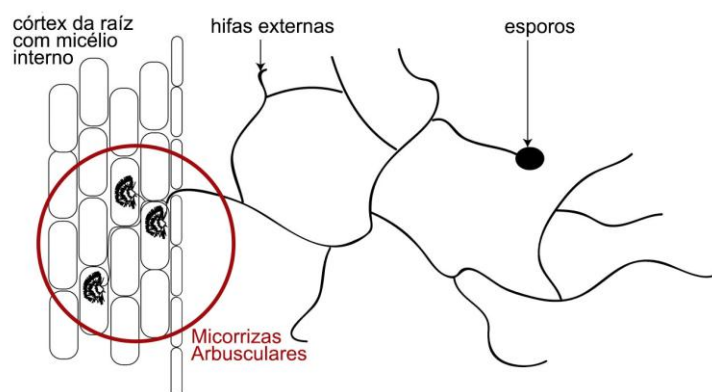


Fig. 12. Micorrizas Arbusculares (ad. Schnepf *et al.*, 2008).

As estruturas mais importantes das micorrizas arbusculares, envolvidas no processo de simbiose e tolerantes aos metais, são as hifas e as vesículas (Aguirre *et al.*, 2011). As hifas crescem entre as células corticais e penetram nas células da raiz formando arbuscúlos, que por sua vez são estruturas extremamente ramificadas que acabam por ocupar a maioria do volume das células. Os arbuscúlos são o principal ponto de troca de nutrientes entre o fungo e o hospedeiro, através dos quais o fungo obtém os açúcares da planta e a planta obtém os nutrientes que o fungo extrai do solo (Aguirre *et al.*, 2011).

As micorrizas arbusculares têm demonstrado de maneira repetitiva a sua capacidade como agentes redutores do *stress* causado nas plantas devido a contaminação de metais no solo (Aguirre *et al.*, 2011). Em determinados casos, quando associadas a plantas hiperacumuladoras, as micorrizas arbusculares favorecem a acumulação de alguns metais e metalóides na parte aérea das plantas, quando o mesmo acontece com plantas não acumuladoras, limita a acumulação (Carrenho *et al.*, 2018).

Alguns estudos demonstram que as micorrizas arbusculares actuam de forma a remover os metais/metalóides do solo, mas dependendo da planta utilizada em associação com estas micorrizas podem tanto desencadear processos de imobilização nas raízes como transportar os metais e metalóides para a parte aérea da planta (Carrenho *et al.*, 2018).

A escolha das espécies de micorrizas pode ser determinada através de estudos previamente realizados na área contaminada e de acordo com o objectivo da remediação. A selecção das espécies com maior adaptabilidade a diferentes tipos de metais aumenta a sobrevivência das plantas hospedeiras, traduzindo-se numa melhor e mais eficaz remediação. Espécies como as *Glomus mosseae*, *Glomus claroideum*, *Glomus intraradices* e *Glomus margarita* são algumas das mais proeminentes nos estudos de fitorremediação, seja para o aumento da tolerância das plantas como para promover a remediação dos solos através da extracção e/ou estabilização dos metais e metalóides (Carrenho *et al.*, 2018).

1.3.4 Tecnossolos

Os Tecnossolos combinam solos cujas propriedades e pedogénese são dominadas pelas suas origens técnicas e incluem, entre outros, solos derivados de resíduos produzidos por actividades humanas. Estes solos contêm uma quantidade significativa de artefactos, isto é, a sua constituição teve como origem, ou foi fortemente alterada, pelo Homem. Eles incluem solos de resíduos, como por exemplo solos provenientes de aterros sanitários, lamas, cinzas de biomassa, resíduos provenientes de áreas mineiras, entre outros (IUSS Working Group WRB, 2006). Estes Tecnossolos são referidos muitas vezes como solos urbanos ou de minas, devido ao facto de resultarem da acção humana (Santos *et al.*, 2018).

Os Tecnossolos podem ser produzidos pelo Homem com o objectivo de fazer a recuperação de áreas degradadas e contaminadas. O *design* dos Tecnossolos pode ser complexo, devido ao facto de ser necessário um bom conhecimento das características, das funções e comportamento dos resíduos a utilizar, além de que o "novo solo" deve seguir um padrão de evolução semelhante ao dos solos naturais (Santos *et al.*, 2018). A escolha dos resíduos a utilizar no Tecnossolo é definido consoante o tipo de contaminação ou limitação ambiental, deste modo, as alterações feitas a um solo devem ser ajustadas às condições de cada solo degradado ou contaminado de maneira a obter-se um Tecnossolo específico para cada problema (Macías *et al.*, 2007; Macías e Olano, 2012).

O principal objectivo deste método de criação de solo é melhorar as características químicas, físicas e biológicas do solo contaminado/degradado, além de estimularem o crescimento da cobertura vegetal tanto de espécies herbáceas, arbustivas ou arbóreas. Já foi confirmado o sucesso da aplicação destes solos na recuperação de áreas mineiras sob condições controladas e também em condições de campo (Macías *et al.*, 2007; Santos *et al.*, 2018).

Os principais efeitos dos Tecnossolos na reabilitação de áreas mineiras incluem (Macías *et al.*, 2007):

i) **Melhoria** da estrutura do solo, promovendo a agregação de partículas mais finas; ii) **Aumento** da actividade microbiana; iii) **Diminuição** da disponibilidade dos elementos potencialmente tóxicos; iv) **Imobilização** de elementos potencialmente tóxicos; v) **Aumento** do pH; vi) **Aumento** do carbono orgânico e concentração de nutrientes; vii) **Aumento** da capacidade de absorção de água; viii) **Aumento** da capacidade de troca catiónica. Através de mecanismos de imobilização dos elementos potencialmente tóxicos, dos quais fazem parte: i) Formação de complexos organometálicos; ii) Adsorção; iii) Co-precipitação; iv) Precipitação ou co-precipitação de carbonatos, fosfatos e de hidróxidos; v) Interações eléctricas; vi) Troca de iões; vii) Reacções redox.

A aplicação de Tecnossolos para a reabilitação de áreas mineiras é considerada a técnica mais eficiente e sustentável a médio longo prazo (Santos *et al.*, 2018).

Várias experiências demonstraram que a aplicação de um único tipo de resíduo, como as cinzas de combustão de biomassa, produzia efeitos benéficos quando aplicada para aumentar o pH do solo em sistemas acidificados, controlar o Al tóxico e fornecer P, Ca ou K. No entanto, numa determinada

mina, após a aplicação de cinzas de biomassa, algumas espécies de eucaliptos após um período de 3-5 anos começaram a apresentar sinais de deficiências de N, amarelecimento das folhas, aumento de ataque de parasitas e outros sintomas, levando à conclusão que seria melhor aplicar uma mistura de resíduos, de maneira a fornecer diferentes tipos de nutrientes (Macías *et al.*, 2007).

Assim, a técnica mais equilibrada para a concepção de Tecnossolos será a de usar não um único tipo de resíduos mas sim uma mistura de resíduos, direccionada à substituição do solo natural em situações de erosão ou problema de contaminação que impeça o desenvolvimento normal das funções do solo, produzindo um solo artificial. Este compreenderá uma mistura sólida de materiais naturais ou sintéticos, minerais ou orgânicos que colocados sobre uma superfície, permitem o cumprimento das funções do solo, melhorando a situação inicial do meio degradado (Macías *et al.*, 2007).

Segundo esta concepção, os resíduos não são mais do que recursos naturais desaproveitados. O objectivo é valorizá-los mediante a sua integração nos ciclos biogeoquímicos através de processos sustentáveis, o que requer um conhecimento preciso não só da natureza e quantidade de cada resíduo, como também da capacidade dos solos (Macías *et al.*, 2007).

Na elaboração de um Tecnossolo, em regra, são utilizados dois tipos de resíduos, os degradáveis que fornecem o material metabolizável, e os inorgânicos, que são chamados de "condicionadores", pois funcionam como estabilizadores da matéria orgânica de forma semelhante ao que acontece nos solos em situação normal (Macías *et al.*, 2007; Macías e Olano, 2012). Estes autores concluíram que o uso de alguns materiais residuais para a preparação destes solos derivados de resíduos – Tecnossolos –, se traduz numa melhoria na eliminação dos subprodutos e oferece uma melhor e mais duradoura integração dos nutrientes (especialmente C e N) nos ciclos biogeoquímicos naturais, proporcionando a possibilidade de regeneração de áreas degradadas.

A aplicação de uma cobertura artificial de solo ou de um Tecnossolo deve ser feita através do espalhamento de uma camada na superfície do solo contaminado ou da sua incorporação na camada superficial do solo/escombreira contaminado, plantação de árvores e arbustos, sementeira de gramíneas (Koptsik *et al.*, 2018).

De acordo com Macías *et al.* (2007), em relação aos benefícios ambientais e sociais decorrentes da utilização de Tecnossolos, podem salientar-se os seguintes:

- Contribuição para a recuperação de solos degradados e/ou contaminados, melhorando as principais funções do solo;
- Minimização dos desperdícios/resíduos que normalmente iriam para aterros ou estações de tratamento;

- Minimização do impacto negativo dos resíduos através da sua integração nos ciclos biogeoquímicos;
- Poupança dos recursos naturais para recuperação de aterros sanitários e outros espaços degradados;
- Redução dos custos da gestão de resíduos, no que diz respeito ao gasto energético no seu tratamento e eliminação, além de reduzir as áreas necessárias destinadas à sua contenção e armazenamento;
- Os nutrientes são utilizados de forma mais adequada, incorporando-os na cadeia trófica. Isto é especialmente importante no caso de resíduos ricos em N, P, K, Mg, Ca, entre outros. Isto traduz-se também numa redução de custos na obtenção e condicionamento de fertilizantes e correctivos;
- Os solos derivados de resíduos contribuem para o sequestro de C nos solos e na biomassa que sustentam;
- A elaboração deste tipo de solos não produz novos resíduos como as outras técnicas.

1.4 ESTRATÉGIAS DE DESENVOLVIMENTO

1.4.1 Importância e Influência do Turismo

Ao longo do tempo alguns lugares encontraram na sua herança industrial elementos patrimoniais que acabaram por ser valorizados do ponto de vista arquitectónico, da museologia e do ponto de vista recreativo (Fernandez e Ramos, 2004).

Inicialmente a actividade mineira levou ao crescimento e ao desenvolvimento de diversas áreas em todo o mundo. Devido a este facto, as minas abandonadas são muitas vezes valorizadas por razões culturais e sociais, e podem proporcionar um ‘senso de lugar’ para as comunidades locais (MCMPR, 2010). Ao longo dos anos têm vindo a surgir novos pólos de desenvolvimento ligados à valorização do património geológico e mineiro (Matos e Martins, 2006).

As minas abandonadas podem também oferecer uma variedade de oportunidades educacionais, e também uma perspectiva sobre o desenvolvimento socioeconómico regional e ainda ilustrarem os impactos ambientais deste tipo de actividade e o que se deve fazer para a sua gestão ambiental (MCMPR, 2010).

A herança industrial tem sido apelidada de “paisagem de nostalgia” (Xie, 2015). É nestas ‘paisagens’ que o passado cultural e histórico se encontra preservado. O turismo representa uma potencial opção no que diz respeito à conservação do património e também um meio eficaz na reconstrução destas ‘paisagens de nostalgia’. Como um subconjunto da área mais ampla do turismo patrimonial, o turismo do património industrial refere-se ao desenvolvimento de actividades turísticas e industriais em locais, edifícios e paisagens artificiais provenientes de processos industriais que ocorreram em períodos anteriores.

O turismo serve como um catalisador para encontrar significado e identidade no passado industrial mas também como um meio para a conservação do património industrial (Xie, 2015).

Devido ao facto da Faixa Piritosa Ibérica ser rica em sítios com interesse geológico e mineiro de interesse patrimonial que devem ser valorizados através de programas de turismo cultural (Matos e Martins, 2006), desde 1999 que o Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) tem vindo a exercer um trabalho contínuo, no que diz respeito à valorização e consolidação do património geológico e mineiro da FPI através de vários projectos, como é o caso do RUMYS e do ATLANTERRA, promovendo assim a Rota da Pirite, constituída pelos sítios mineiros de Aljustrel, São Domingos, Lousal e Caveira. A identificação e promoção de itinerários geo-mineiros transfronteiriços estimulam o território da FPI como um espaço peninsular, herdeiro de uma história extractiva milenar (Matos *et al.*, 2010).

CAPÍTULO 2 – CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2 MINA DE SÃO DOMINGOS

2.1.1 Enquadramento Biofísico e Histórico

Localizadas na freguesia de Corte do Pinto, no concelho de Mértola e distrito de Beja, encontram-se a mina e a respectiva aldeia de São Domingos, que fazem parte da Faixa Piritosa Ibérica (FPI). A FPI constitui a principal província metalogénica do sudoeste peninsular (Fig. 13), sendo considerada uma das maiores regiões mineiras europeias pelo elevado número de jazigos de sulfuretos maciços polimetálicos (Matos *et al.*, 2010).

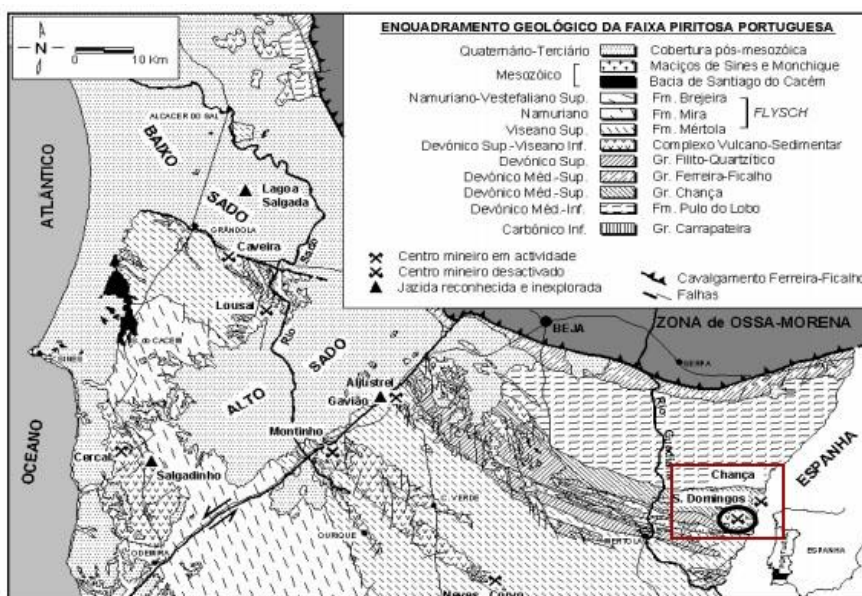


Fig. 13. Localização da Mina de São Domingos na Faixa Piritosa Ibérica (ad. Matos e Oliveira, 2003).

Várias foram as áreas exploradas de forma a extrair materiais destes depósitos metalogénicos maciços de sulfuretos, tendo grande destaque as pirites maciças associadas a sulfuretos de metais básicos. Em Portugal, a exploração mineira foi uma actividade importante para o desenvolvimento socioeconómico da região durante os séculos XIX e XX. Após uma intensa actividade extractiva até meados do século XX, a maioria das minas da Faixa Piritosa foram fechadas sem qualquer tipo de planeamento e implementação de programas de minimização dos impactos ambientais (Figs. 14 e 15) (Simões, 2012).



Fig 14 e Fig. 15. Evidências do impacto ambiental derivado da actividade mineira. (2017)

O principal minério existente na Mina de São Domingos, tal como em muitas das outras minas da FPI, é a chamada pirite cúprica, composta por uma percentagem elevada de enxofre (45- 48%) e por teores variáveis de Cu (entre 1,25 e 7%) e de Zn (2-3%), podendo ainda conter outros metais, tais como, ouro e prata, em menores ou mesmo diminutas percentagens (Silva, 2012).

Na segunda metade do século XIX, no auge da revolução industrial britânica, coincidindo com a altura em que a procura de metais alcançava os níveis máximos na Europa e na América do Norte e dadas também as óptimas condições de alguns dos jazigos minerais na FPI, inclusive os da mina de São Domingos, muitas empresas britânicas e francesas viram a sua oportunidade para investirem e desenvolverem estes locais (Quadro 1) (Silva, 2012).

Quadro 1 Cronologia das companhias que exploraram a Mina de São Domingos.

Ano	Acontecimento	Referência
1854	A mina é reclamada por Nicolas Biava e Jean Malbouisson, capatazes enviados pelo engenheiro francês Ernest Deligny.	Silva, 2012
1855	Deligny e os seus sócios, accionistas da Compagnie des Mines de Cuivre de' Huelva, registam em Sevilha a empresa mineira La Sabina com o intuito de explorar as minas portuguesas, em particular a mina de São Domingos.	Silva, 2012
1858	A empresa La Sabina arrenda a mina a James Mason, engenheiro inglês, que em conjunto com o seu cunhado Francis Barry, funda a Mason & Barry Ltd e inicia a exploração desta mina durante cerca de 20 anos.	Silva, 2012
1859 - 1865	Entre 1859 e 1865, a Mason & Barry Ltd extraiu aproximadamente 25 milhões de toneladas de minério.	Silva, 2012
1867	Começou a escavação a céu aberto da Mina de São Domingos, resultando na modificação total da paisagem local, transformando-a praticamente no que é hoje. O método de exploração a céu aberto não estava contemplado no plano de exploração inicial mas acabou por vir a ser posto em prática.	Guita, 2011

A Mina de São Domingos constituiu o primeiro empreendimento industrial e mineiro de grande importância em Portugal. A exploração desta mina alterou completamente a paisagem da região envolvente, dando origem a algumas povoações como aldeia de São Domingos, erigida junto à mina, que em poucos anos atingiu uma população de vários milhares de habitantes, e a aldeia do Pomarão, localizada junto ao porto fluvial homónimo, construído nas margens do rio Guadiana (Silva, 2012). Conduziu também ao desenvolvimento de povoações já existentes, como as vizinhas Corte do Pinto, Santana de Cambas, Morianes, Mértola, ou mesmo da cidade algarvia de Vila Real de Santo António, sede da alfândega e de um consulado britânico (Silva, 2012).

A construção dos fornos para ustulação das pirites, em 1863, na Achada do Gamo, deu origem a uma reclamação pública, com cerca de 160 subscritores que poderá ter constituído uma das primeiras iniciativas modernas de defesa ambiental no nosso país (Silva, 2012).

O facto da Mason & Barry não ter conseguido manter a viabilidade económica da empresa levou a que em 1965 a mina encerrasse (Silva, 2012).

Em 2003 teve início o processo de recuperação ambiental da Mina de São Domingos, realizado pela Empresa de Desenvolvimento Mineiro (EDM). Estas intervenções, finalizadas em 2005, contribuíram de forma importante para reduzir os riscos de segurança inerentes à actividade turística no complexo mineiro, degradado e instável (Silva, 2012).

O complexo mineiro de São Domingos é constituído pela Corta, Malacate, Oficinas Ferroviárias, Moitinha, Cais do Minério, Central Eléctrica e Achada do Gamo, Telheiro e Porto Mineiro do Pomarão (Fig. 16).

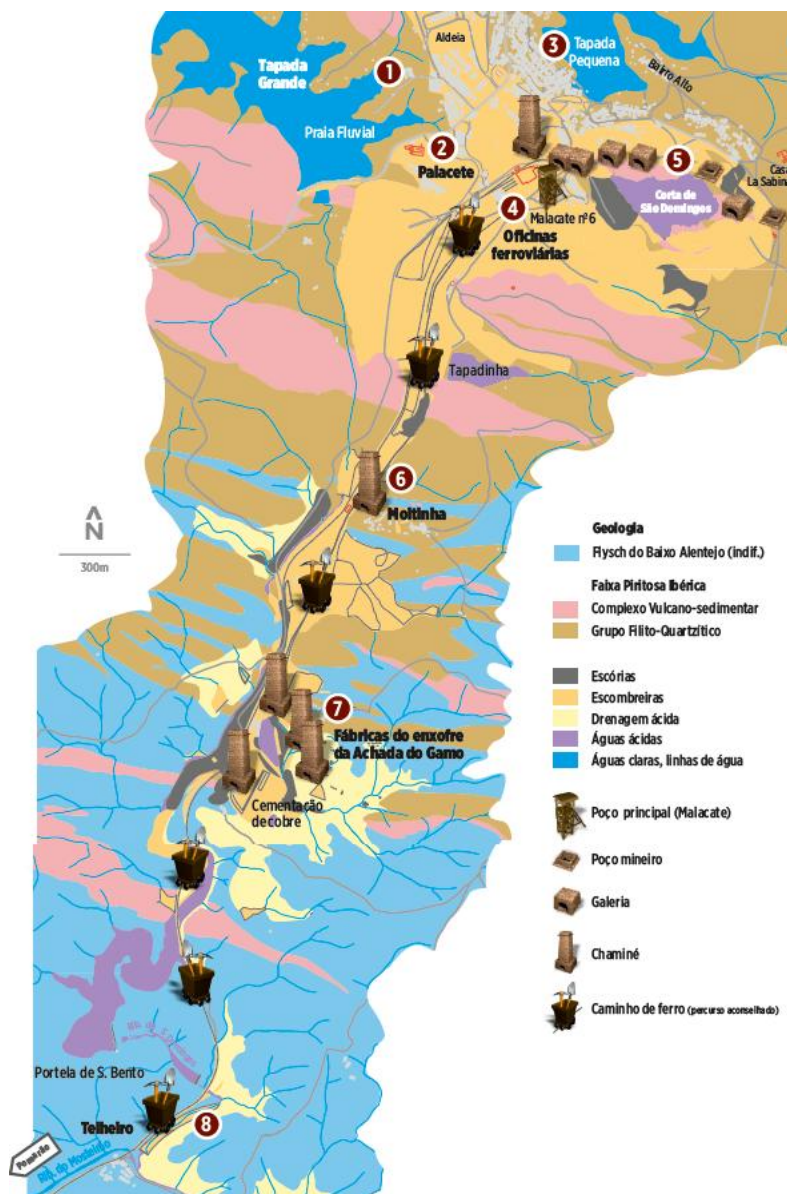


Fig. 16 Complexo Mineiro de São Domingos (ad. Brochura de São Domingos).

A **corta** da mina de São Domingos resultou de uma exploração mineira a céu aberto, encetada em 1867. Toda a topografia e o solo da área envolvente são o resultado de uma transformação gradual deste local; pois os materiais que eram retirados da corta, após os processos de oxidação e lixiviação da pirite, eram gradualmente colocados em escombrelas à volta da corta.

Em 1966, aquando do fim da laboração e consequente abandono da extracção de água do fundo da mina, fez com que o nível freático dentro da corta subisse até ao ponto em que se encontra hoje em dia.

As **oficinas ferroviárias**, além de serem o local onde se fazia a manutenção dos equipamentos ferroviários e industriais, e onde se produziam peças e componentes, eram também locais de

albergue dos forjadores, fundidores, caldeireiros e serralheiros da mina. A **Moitinha** era um dos pontos principais do complexo de São Domingos, era onde se triturava o minério extraído – a pirite – até chegar aos valores de granulometria desejada. O **Cais do Minério** adquiriu o seu nome devido ao facto de ser neste local que se situava o antigo cais de descarga e separação do minério extraído. Através de uma máquina a vapor fixa ligada a uma corda de aço, os vagonetes carregados de minério eram puxados para a superfície, seguindo por uma rampa até ao topo da estrutura do cais de modo a serem descarregados. A **Central Eléctrica** do Complexo de São Domingos é de relativa importância tendo em conta que foi a primeira central a ser construída na região do Alentejo. (Fundação Serrão Martins, 2017).

A jusante da corta e ao longo de todo o vale da ribeira de São Domingos, localizam-se as fábricas de enxofre da **Achada do Gamo**, onde este se produzia através do processo de Orkla (Matos e Oliveira, 2007).

A área do **Telheiro**, localizada a jusante das fábricas de enxofre, compreende a zona de confluência da Ribeira do Mosteirão com a Ribeira de São Domingos, onde correm águas resultantes da drenagem ácida. Quando a exploração se encontrava activa, construiu-se um sistema de represas e de canais que serviam para elevar as águas ácidas que vinham da exploração, distribuindo-as pela vertente de modo a que ao serem dispersas pela vertente se evaporassem em grande parte, tentando assim minimizar a emissão de efluentes ácidos no Rio Chança (Tavares *et al.*, 2009).

2.1.2 Enquadramento Geológico e Litológico

O jazigo de São Domingos era constituído por uma única massa de pirite sub-vertical com cerca de 537 metros de extensão e uma largura compreendida entre 40 e 70 metros, de direcção aproximada E-W, localizada no topo de uma sequência constituída por xistos negros e vulcanitos ácidos, básicos e intermédio-básicos do Complexo Vulcano-Sedimentar (CVS) de idade Viseano-Fameniano Superior (Matos *et al.*, 2006b).

As litologias desta zona foram afectadas por alterações hidrotermais, isto é, sofreram um conjunto de processos químicos que levaram a modificações não só ao nível da composição mineralógica, mas também da composição química destas rochas, neste caso, marcadas pela presença de clorite, sílica e sericite (Matos *et al.*, 2006b). A complexidade de litologias presente na corta condicionou em parte os métodos de exploração da companhia Mason & Barry. A presença de rochas vulcânicas no sector norte permitiu a escavação de bancadas com pisos espaçados de cerca de 8 a 6 m e largura em média de cerca de 4m, ainda hoje visitáveis (Matos *et al.*, 2006b).

A área é caracterizada por um clima tipicamente mediterrâneo, representado por verões quentes e secos com temperaturas que variam entre os 15 e 35º C e por Invernos moderadamente frios e com reduzida precipitação (Silva, 2012).

Solos

A maior particularidade física do Concelho de Mértola (Silva, 2012) consiste na extrema pobreza dos seus solos, em que cerca de 80.7% da área total do concelho é constituída por solos de classe E (Fig. 17). De acordo com a carta de solos (Fig. 18), as unidades pedológicas na área do complexo mineiro de São Domingos, correspondem aos solos esqueléticos derivados de xisto, Litossolos dos climas sub-húmidos e semiáridos de pórfiros e xistos e grauvaques (LNEG, 2018), colocando grandes restrições às práticas agrícolas e agro-pecuárias, adequando-se apenas à vegetação natural ou florestal de protecção (Silva, 2012).

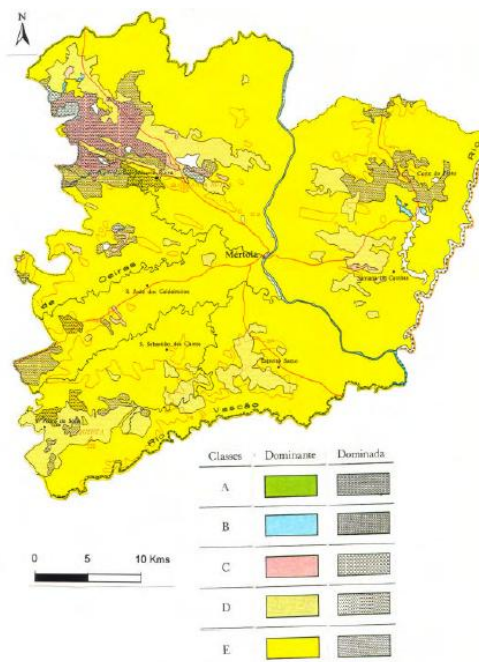
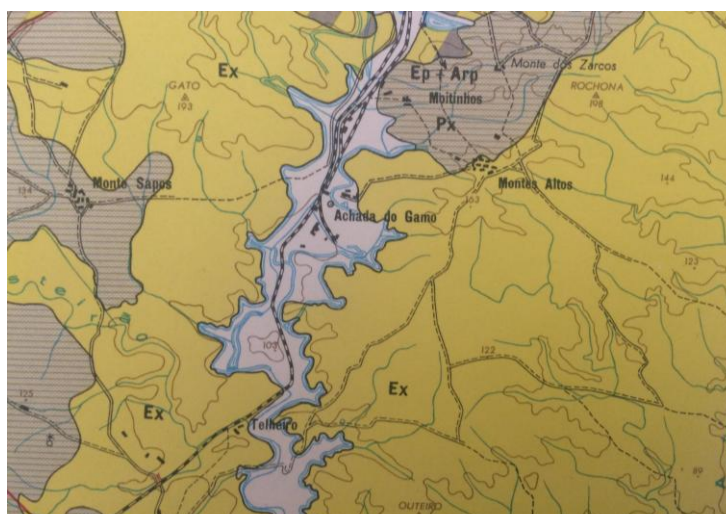


Fig. 17 Carta de Solos do Concelho de Mértola (ad. Casimiro, 1993).



Ex : Litossolos dos climas sub-húmidos e semiáridos de xistos e grauvaquese
Ep + Arp : Solos Incipientes - Litossolos dos Climas de Regime Xérico, de pórfiros com Afloramentos Rochosos de Pórfiros
Px : Solos Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários Normais de xistos e grauvaques;

Fig. 18 Carta de solos na área da Mina de São Domingos (Cedido por Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Alentejo - DRAP Alentejo).

Os solos da área de São Domingos desenvolveram-se tanto em materiais residuais como em rochas meteorizadas (estas por vezes misturadas com materiais de diferentes composições) e em sedimentos fluviais de bancada, sendo por isso solos heterogéneos. Como resultado desta heterogeneidade, além de apresentarem baixo conteúdo em nutrientes, apresentam um vasto intervalo de pH, especificamente com valores entre 1,8 e 7,8. Os solos apresentam elevadas concentrações de elementos potencialmente tóxicos, maioritariamente As, Cu, Pb, Sb e Zn, que na maioria dos casos excede os valores médios de uma área não-contaminada (Abreu *et al.*, 2012a). Alguns solos contêm ainda elevadas concentrações de Hg, em particular os solos recolhidos na subárea da Achada do Gamo, onde a pirite era queimada, e também nos solos do Telheiro localizado a jusante da Achada do Gamo (Abreu *et al.*, 2012a).

2.1.3 Vegetação Existente

A flora é característica do carvalhal da zona continental seca e quente, em que pontuam a azinheira (*Quercus ilex* L. subsp. *rotundifolia* (Lam.) Tab), menos o sobreiro (*Quercus suber* L.), o carrasco e outros *Querci* de pequeno porte, como o catapereiro, o zambujeiro e o carrasco, além de uma flora arbustiva, onde maioritariamente se encontra esteva, alfazema, e outras plantas odoríferas, como é o caso das plantas do género *Cistus*. O eucalipto (Fig. 19a e 19b), que tão intensamente marca a paisagem em torno da Mina de São Domingos, foi uma espécie introduzida entre 1860 e 1867, com o objectivo de fornecer o combustível necessário para o funcionamento da mina (Alves, 2007).

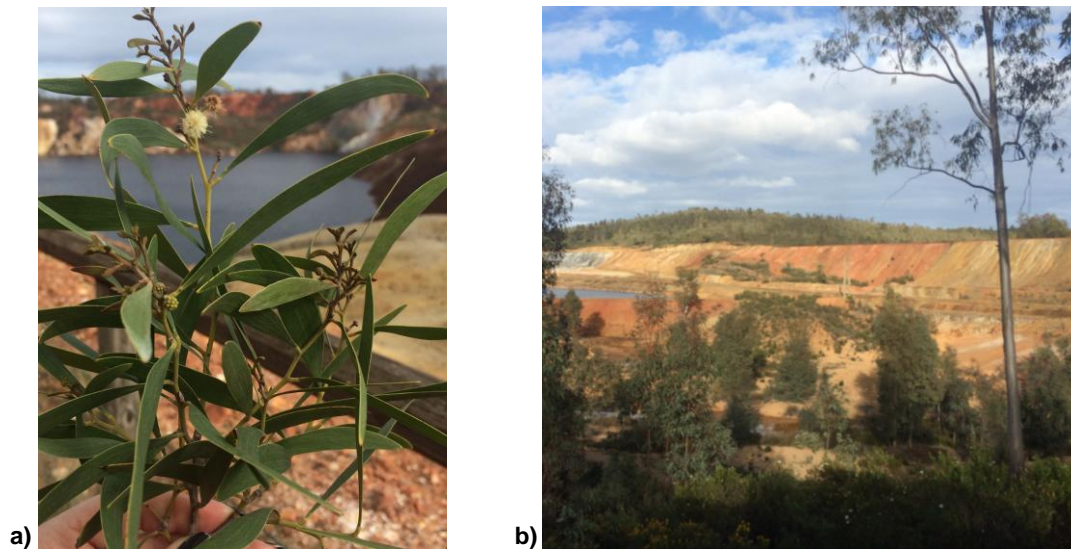


Fig. 19 a) e b) *Eucalypto camaldulensis*, presença marcante na paisagem da mina (2016).

Género *Cistus*

As plantas do género *Cistus* (Fig. 20), nomeadamente as espécies *C. salviifolius* e *C. ladanifer* conseguem resistir e adaptar-se em locais que contêm elevadas concentrações de elementos potencialmente tóxicos, como é o caso de escombreyras de minas, sem que apresentem sinais negativos no seu desenvolvimento. Estas plantas comportam-se como não acumuladoras de elementos potencialmente tóxicos como o As, Cu e Pb que ocorrem em concentrações muito elevadas em áreas mineiras como são as da FPI (Santos *et al.*, 2011b).



Fig. 20 Plantas do género *Cistus* existentes na área da mina de São Domingos (2016).

Devido ao facto destas duas espécies serem pioneiras e de possuírem baixa exigência nutricional, estas conseguem colonizar áreas degradadas contribuindo deste modo para a recuperação de alguns solos incipientes e consequente evolução da sucessão ecológica (Santos *et al.*, 2011b; Abreu *et al.*, 2012b; Santos *et al.*, 2014).

O *Cistus ladanifer* L., comumente conhecido como esteva, é um arbusto que consegue crescer em áreas sujeitas a diferentes condições, tais como elevada radiação solar e temperatura, *stress* hídrico, baixo teor de matéria orgânica no solo, elevadas concentrações de elementos potencialmente tóxicos no solo e baixo pH (Santos *et al.*, 2011a).

O *Cistus salviifolius* é uma espécie que coloniza áreas não contaminadas e contaminadas, acumulando os elementos potencialmente tóxicos nas raízes, tolerando solos com acidez moderada e desenvolvidos a partir de diferentes materiais residuais, como *gossan*, escombreliras e cinzas de pirite, com baixa fertilidade e elevadas concentrações de elementos potencialmente tóxicos (Santos *et al.*, 2012). Deste modo, apresenta-se como uma espécie adequada para a recuperação de solos e resíduos mineiros de vários tipos, em áreas caracterizadas por um clima semiárido (Abreu *et al.*, 2012c).

De modo a se adaptarem a áreas degradadas como as de uma exploração mineira, as plantas podem desenvolver um conjunto de mecanismos fisiológicos e morfológicos que lhes permita tolerar condições desfavoráveis, tais como *stress* hídrico e térmico, resultando por vezes em dimorfismo foliar, de maneira a diminuir a área foliar, variações nas concentrações de clorofila e taxa fotossintética, de maneira a poder dar resposta às várias condições de *stress* a que estão submetidas em ambientes extremos (Santos *et al.*, 2011a).

Apesar das propriedades físicas e químicas dos solos em áreas mineiras contaminadas apresentarem características desfavoráveis ao crescimento de vegetação, as espécies pertencentes ao género *Cistus* conseguem desenvolver-se, não apresentando sinais de toxicidade, sendo consideradas espécies adequadas para a reabilitação de áreas com solos contaminados (Abreu *et al.*, 2012b; Santos *et al.*, 2014b), ou em programas de recuperação de áreas mineiras que apresentem características de clima semiárido (Abreu *et al.*, 2012b). De acordo com Santos *et al.* (2014), na espécie *C. ladanifer* os nutrientes essenciais são na sua maioria translocados das raízes para a parte aérea das plantas enquanto a maioria dos elementos potencialmente tóxicos ficam acumulados nas raízes.

Género *Erica*

Na área mineira de S. Domingos várias espécies vegetais foram reconhecidas como plantas tolerantes às condições de ambiente mineiro, entre estas estão duas plantas do género *Erica* (Fig. 21) que merecem especial atenção, a *Erica australis* L. e *Erica andevalensis* Cabezudo & Rivera (Abreu *et al.*, 2008, 2012). Além de serem encontradas nesta zona também podem ser observadas nas margens dos rios Tinto e Odiel bem como em resíduos mineiros na mesma zona. É um

endemismo de Andévalo, Espanha mas está distribuída nas várias áreas mineiras da Faixa Piritosa Espanhola e em Portugal está circunscrita à área mineira de São Domingos.



Fig. 21 Planta do género *Erica* existente na área da mina de São Domingos (2016).

A espécie *E. andevalensis* foi classificada como uma espécie em vias de extinção pelo Governo Regional da Andaluzia, e a sua distribuição geográfica encontra-se limitada a locais associados à presença de pirite (Abreu *et al.*, 2012). A outra espécie, *Erica australis*, é endémica da Península Ibérica e do Noroeste de África. Distribui-se em diferentes tipos de solo e de clima, mas também consegue sobreviver em áreas com altas concentrações de elementos potencialmente tóxicos como o As, Cu e Pb (Abreu *et al.*, 2008; Abreu *et al.*, 2012). De certa maneira, o facto da espécie *E. andevalensis* se encontrar em perigo de extinção pode ser considerado como uma vantagem do seu uso na reconversão destes locais, pois se plantarmos mais exemplares estaremos a contribuir para a protecção e prosperidade desta espécie. Deste modo, a implantação destas espécies pode ser uma hipótese para a recuperação de paisagens mineiras devido às suas características.

2.1.4 Espécies de Interesse

Arbutus unedo

A espécie *Arbutus unedo*, também pertencente à família das Ericaceae como as espécies referidas anteriormente, é um arbusto de folha persistente que é considerado por Abreu *et al.* (2014) como uma espécie com potencial de fitoestabilização de áreas com solos contaminados, devido ao seu bom desenvolvimento vegetativo. De acordo com o mesmo autor, a utilização deste arbusto como fitoestabilizador deve-se ao facto deste acumular a maioria dos elementos potencialmente tóxicos nas suas raízes, à excepção do Cd e Zn, que são preferencialmente translocados das raízes para as folhas, não o sendo contudo translocados para os frutos.

Estas espécies podem ser utilizadas em programas de fitoestabilização devido ao facto de colonizarem espontaneamente as escombreyras, pois pertencem ao grupo de plantas pioneiras, promovendo assim a meteorização e a pedogénese e diminuindo a erosão das áreas degradadas.

Além de que esta espécie não é acumuladora de elementos potencialmente tóxicos e as suas concentrações na parte aérea não representam ameaça para os sistemas biológicos (Abreu *et al.*, 2014).

Outro aspecto importante na sua utilização deriva da análise aos frutos colhidos em espécies plantadas em solos contaminados que demonstrou que o seu consumo não aparenta constituir risco para a saúde humana. Desta forma, podem ser usados para a produção de compotas e aguardente e adquirindo assim um fim económico e social além do ambiental (Godinho *et al.*, 2010; Abreu *et al.*, 2014).

***Lolium perenne* L.**

Alguns autores apontam a possibilidade de utilização da espécie *Lolium perenne* L. na vegetalização de solos degradados por actividades mineiras (Alvarenga *et al.*, 2008).

A escolha das plantas a usar para a fitoestabilização é um aspecto muito importante a considerar pois as plantas devem ter capacidade de desenvolver um bom e extenso sistema radicular e produzir grandes quantidades de biomassa apesar da presença de altas concentrações de metais e metalóides no solo, sendo a translocação dos metais das raízes para a parte aérea o mais baixo possível (Alvarenga *et al.*, 2008).

Num estudo elaborado por Alvarenga *et al.* (2011) analisou-se a utilização de *L. perenne* e de diferentes resíduos orgânicos na fitoestabilização de solos degradados numa mina também pertencente à Faixa Piritosa Ibérica. Os resultados demonstraram um aumento do teor de matéria orgânica (MO) no solo aquando da aplicação de correctivos e uma diminuição da fracção efectivamente disponível dos elementos Cu, Pb e Zn. Utilizaram-se resíduos orgânicos urbanos, resíduos verdes e lamas de depuração. A aplicação destes resíduos permitiu a correcção da acidez no solo, em especial com a utilização dos resíduos urbanos e lamas, sendo os resíduos verdes os menos eficientes. No entanto, todos contribuíram para um aumento do teor de MO no solo, em especial com a aplicação de lamas de depuração que promoveu um aumento mais acentuado, permitindo assim atingir teores mais elevados de azoto no solo (Alvarenga *et al.*, 2011).

Existem ainda outras espécies gramíneas tolerantes a áreas contaminadas, entre elas estão a *Agrostis stolonifera*, *Festuca rubra*, *Trifolium repens*, *Trifolium pratense* e *Poa pratensis* (Koptsik *et al.*, 2018).

2.1.5 Valor Económico Acrescentado

Algumas plantas aromáticas e com propriedades medicinais, como é o caso do *Cistus ladanifer*, *Cistus salviifolius*, *Lavandula pedunculata*, *Lavandula stoechas* e *Rosmarinus officinalis*, além da capacidade de colonização e recuperação de áreas contaminadas, podem ter valor económico acrescentado devido aos seus óleos essenciais. Algumas destas espécies possuem óleos essenciais que podem actuar como um herbicida natural e podem proteger outras plantas vizinhas. Os

bioextratos provenientes da espécie *C. ladanifer* possuem variados compostos de interesse farmacêutico e cosmético. Deste modo, o uso desta espécie em áreas mineiras contaminadas pode ainda criar um retorno económico (Santos *et al.*, 2017b).

O *C. ladanifer* possui mecanismos que lhe permitem absorver, acumular e remover os elementos potencialmente tóxicos. O facto de algumas micorrizas estabelecerem associações com esta planta, pode estar na origem do aumento de absorção de nutrientes e na capacidade de estas plantas removerem o Al e o Fe da sua parte aérea. Podem também ter ocorrido outras adaptações metabólicas de modo a que a espécie tenha evoluído e conseguido adaptar-se à presença dos metais e metalóides nestas áreas contaminadas (Rossini-Oliva *et al.*, 2018).

As espécies do género *Lavandula* conseguem adaptar-se em solos com vários tipos de contaminação, baixa fertilidade, variando nos valores de pH, sendo espécies de interesse na fitoestabilização de solos com variados elementos potencialmente tóxicos, sob condições típicas de clima Mediterrâneo (Santos *et al.*, 2016). De acordo o mesmo autor, as concentrações de As, Mn e Zn na parte aérea das plantas não afectaram as concentrações dos pigmentos e proteínas.

A espécie *Lavandula stoechas* é utilizada em culinária e também na produção de cosméticos devido à sua fragrância, além de que os seus óleos essenciais são usados na produção de alguns alimentos, bebidas, sabonetes, perfumes, e outros cosméticos, e ainda produtos farmacêuticos (Carrasco *et al.*, 2015).

CAPÍTULO 3 – PROPOSTA PAISAGÍSTICA

3 CONCEITO DE INTERVENÇÃO

A proposta paisagística para uma área de uma das vertentes da mina de São Domingos teve como conceito a valorização e a recuperação da paisagem degradada pela actividade mineira, através da interligação entre as encostas das duas margens, criação de nódulos de vegetação que potenciem o recobrimento natural da área através da utilização de espécies autóctones.

Esta preocupação deve-se à mudança de atitude na relação do Homem com a Natureza, em que passa de simples explorador dos recursos a administrador cuidadoso.

Através da aplicação dos conceitos teóricos de Arquitectura Paisagista e de biorremediação neste caso de estudo, pretende-se fazer a modelação da área da vertente através da construção de patamares e taludes, aplicação de um Tecno solo e posteriores sementeiras e plantações, de modo a criar condições para a formação de solo a partir do substrato litológico e consequentemente criar condições para o desenvolvimento de núcleos de espécies herbáceas e arbustivas, de preferência autóctones e que se adaptem às condições edáfico-climáticas do local.

3.1 PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO PAISAGÍSTICA

A estratégia de intervenção paisagística na zona do Telheiro da área mineira de São Domingos (Fig. 22) pretende a recuperação desta área através do processo da fitorremediação, analisada na revisão bibliográfica deste trabalho, tal como outras estratégias de recuperação.

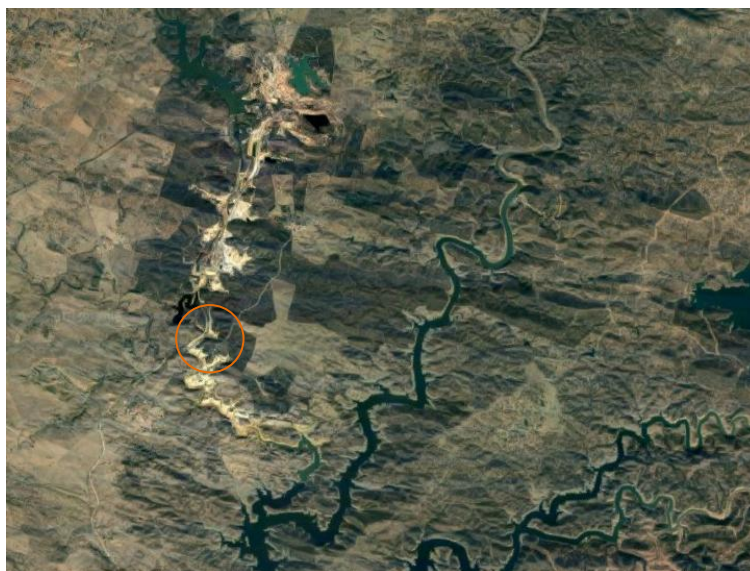


Fig. 22 Localização geográfica da área de intervenção. (ad. Google Maps, 2018)

O Telheiro é a zona onde a ribeira do Mosteirão (curso de água não contaminado) desagua na ribeira de São Domingos (linha de drenagem ácida) (Folhas 1, 1.1 e 1.2, Anexo C).

Para que se possa intervir nas vertentes da área mineira, modeladas em xistos e grauvaques, que se encontram praticamente desprovidas de revestimento vegetal, pelo facto de terem sido sujeitas à escorrência de águas ácidas há que fazer previamente algumas operações, tais como: **i) Controlo da erosão**, através da implantação de um sistema de drenagem superficial e parcial revestimento vegetal da linha de escoamento das águas; **ii) Estabilizar ou alterar a modelação do terreno**, de modo a atenuar as vertentes com declives acentuados e criação de patamares de maneira a criar as condições necessárias para a aplicação de um Tecossolo de modo a fornecer nutrientes e as condições físico-químicas adequadas para as plantas; **iii) Cobertura vegetal**, através da plantação e sementeira de espécies arbustivas e herbáceas.

3.1.1 Plano Geral – Objectivos

O projecto de intervenção de uma das vertentes da área do Telheiro (Folha 2, Anexo C) tem como objectivo o desenvolvimento de solo e das espécies vegetais, conservando e valorizando o carácter histórico do local, através da criação das condições necessárias para o desenvolvimento das plantas e formação de solo. Após alguns anos espera-se que a área esteja totalmente coberta de vegetação (Fig. 23) totalmente adaptada às condições do local e que a estrutura, qualidade e espessura de solo seja superior à da data de intervenção. Espera-se também que outras espécies vegetais tenham conseguido colonizar o local (através de por exemplo, propagação de semente por parte da avifauna), além das inicialmente propostas. Em determinadas zonas também se pretende criar condições para que a *Erica andevalensis*, se desenvolva e se estabeleça, já que esta espécie possui elevado valor ecológico por ser endémica da Faixa Piritosa Ibérica, sendo já considerada espécie protegida em Espanha e não se encontrar em mais nenhuma região de Portugal.

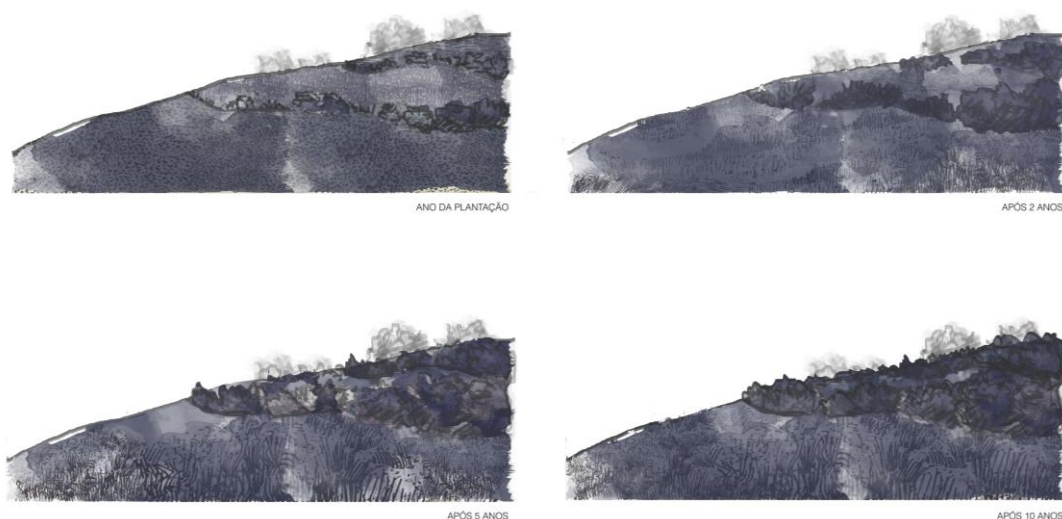


Fig. 23 Ilustração da evolução ao longo dos anos nos núcleos de vegetação (sem escala).

3.1.2 Modelação do Terreno

Apesar do declive inicial da área não ser problemático, rondando aproximadamente os 27%, todo este espaço tem actualmente como substrato rocha exposta, especificamente xistos e grauvaques. Desta forma, considerou-se necessária a formação de patamares (Folhas 3, 3.1 e 3.2, Anexo C) com declive adequado de forma a garantir a drenagem superficial e para se poder criar um solo, através da adição de resíduos, construindo assim um Tecnossolo, de modo a evitar a erosão dos materiais e de modo a permitir a implantação da vegetação. A solução encontrada teve como princípio atenuar algumas zonas, e criando áreas – patamares –, para que a formação de solo e o desenvolvimento de espécies vegetais seja mais fácil.

Para a modelação dos patamares tentou encontrar-se uma solução em que não ocorresse grande contraste de declives entre os taludes que separam os patamares, optando-se por inclinações da ordem, em média, dos 26% no patamar superior e 22% no patamar inferior (Fig. 25 e Anexo B), resultando assim na proposta final (Fig. 26). Os patamares superior e inferior (Fig.24) ocupam uma área de, aproximadamente, 967 m² e 1215 m², respectivamente.

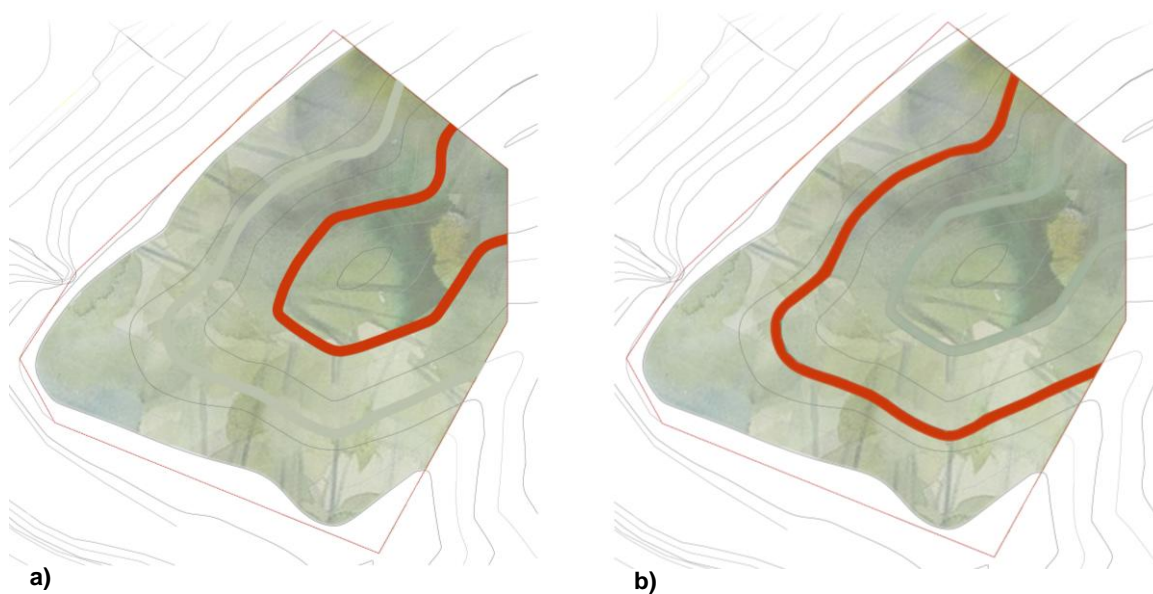


Fig. 24 Ilustração dos patamares do projecto de intervenção (sem escala) – a) patamar superior; b) patamar inferior.



Fig. 25 Esquema representativo dos valores aproximados de inclinação nos taludes (sem escala).

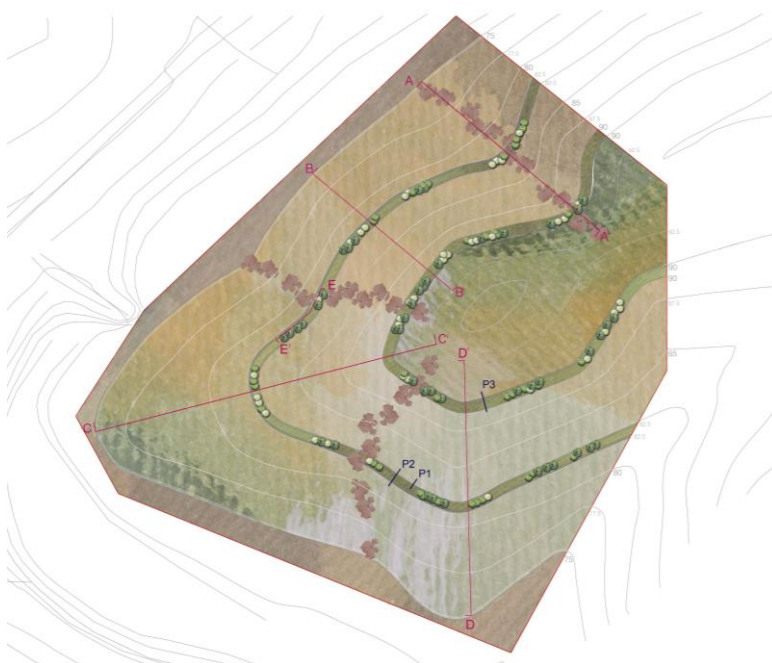


Fig. 26 Representação do Plano Geral do projecto de intervenção (sem escala).

Na parte superior da vertente, a cotas mais altas e que não está contaminada (Quental *et al.*, 2002), encontra-se uma área com eucaliptos, azinheiras, estevas e outras espécies vegetais bem adaptadas ao local; à medida que se passa para cotas mais baixas, encontra-se o primeiro patamar, à cota 90 e

o segundo que está à cota 82,5. Estes patamares foram pensados de modo a proporcionar áreas mais ou menos planas de modo a facilitar a aplicação do Tecnossolo e garantir a formação de densos núcleos de vegetação autóctone, dispersos em módulos de plantação (Fig. 27). No entanto, foram deixadas aberturas entre os diferentes módulos de maneira a que não se criassem situações de demasiada densidade de plantação, não só para não limitar o compasso de crescimento das espécies mas também para dar lugar a outras que possam começar a colonizar a área e consequentemente a estabelecer-se nesta área.



Fig. 27 Representação de um módulo de plantação (sem escala).

Nos taludes que separam os patamares propõe-se o revestimento com gramíneas de maneira a tirar partido das suas raízes fasciculadas, boas fixadoras de solo e de rápido crescimento, proporcionando desta forma uma rápida cobertura vegetal, em conjunto com leguminosas capazes de fixar o nitrogénio da atmosfera e, deste modo, aumentar a fertilidade do solo. Misturar-se-á ainda sementes de *Cistus ladanifer* e *Cistus salviifolius*, não só de maneira a aumentar a cobertura vegetal destas áreas mas também para aumentar o potencial de fixação através das raízes mais profundas e lenhosas dos arbustos. O uso de todas estas espécies em conjunto resultará numa constante evolução da estrutura do solo nestes taludes.

3.1.3 Rede de Drenagem

A execução de uma rede de drenagem de águas pluviais é fundamental para o sucesso do projecto. Para melhor adaptação do projecto ao terreno poderão ser introduzidas as correcções necessárias, com conhecimento da fiscalização.

Para a drenagem de águas pluviais tem de ser tida em consideração a topografia do terreno e a orografia das zonas envolventes.

Tendo em conta as zonas de maior acumulação de águas superficiais (Fig. 28 e Folhas 4 e 4.1, Anexo C) propõe-se a utilização de materiais resultantes dos trabalhos de modelação de terreno, nomeadamente partes dos afloramentos rochosos de xisto, como dissipadores de energia, criando obstáculo às águas pluviais de montante para jusante, aumentando assim o tempo de permanência e consequentemente a maior taxa de infiltração das mesmas e diminuindo o poder erosivo da água.

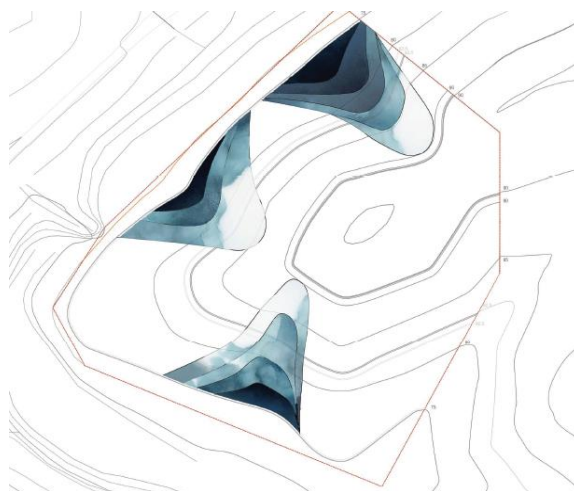


Fig. 28 Representação das áreas de maior acumulação de águas superficiais (sem escala).

De maneira a garantir o bom funcionamento da drenagem superficial, propõe-se a abertura de valas de crista ao longo dos taludes, situadas no início de cada um, neste caso no início de cada patamar, e valas de pé de talude, situadas no fim de cada talude de modo a recolher as águas que vêm de montante (Folha 5, Anexo C). Este sistema de drenagem superficial também será assegurado pela ligeira inclinação de cada patamar (1,5%). Nos locais onde passam linhas de escoamento preferencial da água, propõe-se a colocação de materiais derivados da desagregação do xisto presente nos taludes aquando da modelação do terreno, criando assim dissipadores de energia da água que permitam reduzir a velocidade de escoamento das águas pluviais, contribuindo assim para a diminuição dos processos erosivos e para o acréscimo do tempo de infiltração.

3.1.4 Tecnossolo

Antes da aplicação do Tecnossolo, aquando da modelação do terreno, deverá ser feita a ripagem da rocha nos patamares, de modo a desagregar os materiais constituintes e facilitar a operação.

O Tecnossolo será produzido com recurso a resíduos, principalmente orgânicos, sem valor económico e que sejam de fácil obtenção na zona, numa perspectiva de economia circular.

O Tecnossolo (Folha 6, Anexo C) será constituído por uma mistura de diferentes resíduos orgânicos e inorgânicos. Isto deve-se ao facto de diferentes compostos orgânicos apresentarem diferentes tempos e graus de mineralização, podendo desta maneira fornecer os nutrientes ao solo/planta de forma gradual, como aconteceria no padrão de evolução natural de um solo em condições normais.

O Tecnossolo a ser aplicado (Fig. 29) nos patamares da área de intervenção terá uma espessura de aproximadamente 20 cm e será constituído por uma mistura de resíduos que estejam disponíveis na zona ou próximo dela; dão-se como exemplo podas de biomassa, borras de café, resíduos de destilação de aguardente de medronho e resíduos de alfarroba, cinza de combustão de biomassa e areia (componente inorgânico). De modo a conter este Tecnossolo colocar-se-ão nas extremidades

blocos de pedra resultantes da desagregação da rocha aquando da modelação do terreno, ao longo dos patamares.

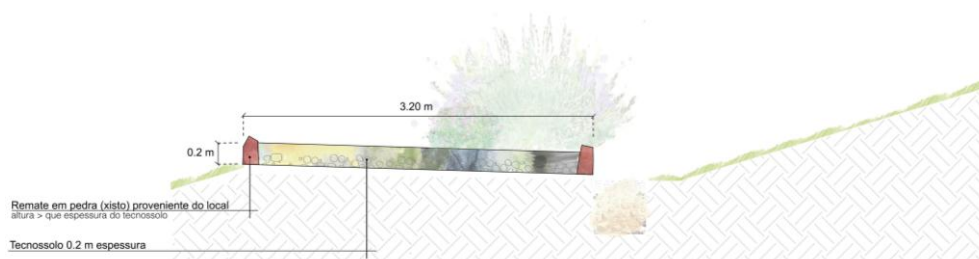


Fig. 29 Pormenor construtivo (sem escala) do Tecno solo a aplicar.

O objectivo deste Tecno solo é melhorar o pH do substrato de xisto contaminado e permitir a génese de solo e diminuir a disponibilidade e mobilidade dos metais e metalóides através, fundamentalmente, de reacções de adsorção e complexação. Além disso, este Tecno solo constituirá o substrato inicial para a sementeira/plantação das espécies vegetais.

3.1.5 Plano de Plantação

Depois de efectuadas as operações de modelação do terreno, proceder-se-á à instalação do Tecno solo. Numa fase seguinte, será feita a sementeira e plantação das espécies vegetais escolhidas, arbustivas e herbáceas, nos patamares. Nos taludes será aplicada gunitagem orgânica com mistura de leguminosas, gramíneas e sementes de duas espécies arbustivas a fim de proporcionar uma boa e eficaz cobertura dos taludes, de modo a defender a superfície destes agentes erosivos, estabilizando e integrando-os paisagisticamente.

O plano de aplicação do Tecno solo e de plantação proposto tem como objectivo garantir a estabilização dos patamares e taludes, o desenvolvimento de espécies vegetais e melhorar as propriedades físicas e químicas dos materiais do xisto de modo a promover o desenvolvimento de um solo equilibrado do ponto de vista da sua estrutura e nutrientes, promovendo um bom desenvolvimento das plantas e a diversidade de espécies vegetais que aí encontrem condições para a sua instalação. Os diferentes estratos vegetais actuarão de um modo escalonado ao longo do tempo. Aplicar-se-á a gunitagem orgânica nos taludes, contendo uma mistura maioritariamente de espécies herbáceas, e algumas espécies arbustivas autóctones (Quadro 2).

Gunitagem Orgânica

A instalação das plantas nos taludes é feita por um sistema denominado de Gunitagem Orgânica, aplicado directamente nos locais definitivos.

Tendo em conta a natureza dos taludes (rocha mais ou menos meteorizada) da área de intervenção, deverá ser feita uma ripagem cruzada com aproximadamente 0,2 m de profundidade, devido ao perfil

irregular e de granulometria heterogénea, antes da aplicação da gunitagem orgânica, sendo este o método escolhido por se adequar a taludes rochosos.

A primeira fase da gunitagem orgânica consiste na colocação sobre a superfície do talude de uma rede de aço galvanizado, com uma malha de 0,08x0,10 m, ancorada ao talude e sobre a qual será projectada esta gunitagem especial composta por estabilizadores: orgânicos e inorgânicos, naturais e sintéticos, composto de sementes arbustivas e gramíneas/herbáceas, polímetros de retenção de água, turfa, etc.

A mistura de sementes proposta, aplicada a 25 g/m², está representada no seguinte quadro:

Quadro 2 Herbáceas propostas no plano de plantação do projecto de intervenção na Mina de São Domingos (Folhas 7.1 e 7.1a, Anexo C).

Herbáceas	Época de Sementeira	Percentagem de Consociação*
(Fa) <i>Festuca arundinacea</i> L.	Março/Abril	25%
(Lp) <i>Lolium perenne</i> L.	Março/Abril	15%
(Pp) <i>Poa pratensis</i> L.	Março/Abril	10%
(Tc) <i>Trifolium campestre</i>	Março/Abril	10%
(Tr) <i>Trifolium repens</i>	Março/Abril	5%

*total de herbáceas 65%, com os restantes 35% para sementes de arbustos autóctones: *Cistus ladanifer* (10%), *Cistus monspeliensis* (5%), *Cistus salviifolius* (10%) e *Lavandula pedunculata* (10%).

Este sistema fornece de forma rápida um solo artificial capaz de permitir a germinação das plantas no talude (Fig. 30 e 31).



Fig. 30 Representação do resultado esperado na primeira semana da aplicação de gunitagem orgânica (sem escala).



Fig. 31 Representação do resultado esperado na terceira semana da aplicação de gunitagem orgânica (sem escala).

Plantação das espécies arbustivas

A vegetação arbustiva proposta para os patamares (Quadro 3) baseia-se essencialmente no uso de espécies autóctones e que se conseguem adaptar a áreas contaminadas, como é o caso das áreas mineiras. Algumas das espécies escolhidas já se encontram noutras zonas da Mina de São Domingos.

O objectivo é o de promover a sucessão natural do revestimento do solo, com diferentes tipos de vegetação de modo a que haja diversidade, pois a diversidade de espécies aumenta a estabilidade do solo.

Apesar de ser uma espécie de interesse, a *Erica andevalensis* não está proposta no plano de plantação pelo simples facto de não ser fácil de encontrar no mercado. No entanto, poder-se-ia pedir a devida autorização para recolha de semente ou recolha de estaca para uma futura propagação da espécie e aplicação no terreno.

Quadro 3 Arbustos propostos no plano de plantação do projecto de intervenção na Mina de São Domingos (Folha 7.1 e 7.2, Anexo C).

Arbustos	Quantidade	Folha	Altura Média (m)
(Au) <i>Arbutus unedo</i> L.	12	Persistente	4
(Cl) <i>Cistus ladanifer</i> L.	Variável*	Persistente	2
(Cm) <i>Cistus monspeliensis</i> L.	27	Persistente	1
(Cs) <i>Cistus salviifolius</i> L.	Variável*	Persistente	1
(Lp) <i>Lavandula pedunculata</i> subsp. <i>pedunculata</i>	Variável*	Persistente	1-2
(LI) <i>Lavandula</i> subsp. <i>stoechas</i> ssp. <i>luisieri</i> Rivas-Martínez	13	Persistente	1
(Ro) <i>Rosmarinus officinalis</i> L.	29	Persistente	2

*o número de exemplares desta espécie dependerá do sucesso da projecção da gunitagem.

3.1.6 Faseamento do Projecto

A primeira fase da estratégia de recuperação terá como início a modelação do terreno. Esta deverá aproveitar os materiais derivados desta operação, isto é, espera-se que a quantidade de material de escavação seja, aproximadamente, a mesma que o material a aterrar, de modo a que não haja desperdício nem que se tenha que ir buscar materiais a outro local para a criação dos patamares propostos. Estes materiais irão então depositar-se até atingir as cotas finais de modelação.

A modelação proposta será conseguida através de operações de aterro e escavação. Os materiais resultantes da escavação serão utilizados para aterro, colocados nos patamares *in situ*. Para uma correcta drenagem do local, vão ser criadas duas valas: uma de crista para recolha das águas de drenagem superficial que vêm de montante, e outra de pé de talude, situada no sopé do talude.

Posteriormente os materiais de xisto meteorizado e contaminado pelo facto de terem sido lixiviados com águas ácidas serão cobertos com um Tecnossolo e finalmente proceder-se-á à consequente instalação de vegetação. A instalação de vegetação, tanto das espécies herbáceas como das arbustivas, deverá ser realizada na Primavera, de modo a proporcionar que as espécies beneficiem de alguma chuva antes da chegada da estação seca.

Relativamente aos povoamentos de eucaliptos já existentes na área mineira, numa outra fase, posterior às operações de modelação e plantação, deverá ser feita uma substituição cirúrgica e faseada da espécie *Eucalyptus camaldulensis* por azinhal, nas áreas menos declivosas, através da plantação de *Quercus rotundifolia*. No entanto, deverão deixar-se alguns povoamentos desta espécie como memória de um passado recente.

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a presente dissertação foi possível perceber e aprofundar com maior detalhe a complexidade das questões associadas à recuperação de áreas mineiras. São zonas muito instáveis e por isso qualquer medida de actuação tem que ser muito bem pensada, de maneira a que não perturbe (ainda mais) o sistema. Relativamente às medidas de acção do Homem, por muito que já se conheçam diversas técnicas de recuperação, desde técnicas mais ligadas à engenharia civil a técnicas mais sustentáveis tanto economicamente como do ponto de vista ambiental, a reabilitação de uma área como a Mina de São Domingos é sempre um processo delicado e complexo.

A fitorremediação apesar de todas as vantagens, sendo um processo em evolução e sob investigação, deixa ainda muitas questões em aberto. Até à data, normalmente dentro dos processos de fitorremediação há sempre limitações, o que se traduz por vezes no aumento da dificuldade em arranjar uma solução adequada às necessidades da área a recuperar. Os processos enunciados na revisão bibliográfica podem ter aplicações muito específicas; em áreas com níveis de contaminação elevados e diferenciados, e outros tipos de condicionantes, estas técnicas de fitorremediação podem não ser suficientemente eficazes, necessitando por isso de outra medida de actuação, que pode não ser tão sustentável como esta.

Uma das vantagens deste trabalho foi o facto de poder verificar que estão a ser feitos muitos esforços no que diz respeito à recuperação de áreas não só com problemas de contaminação por metais e metalóides mas também por outro tipo de contaminantes, e a quantidade de projectos em que muitos investigadores e instituições portuguesas estão a participar, alguns deles, pioneiros na área. As técnicas de recuperação da paisagem através da utilização de espécies vegetais, preferencialmente autóctones, é um passo importante e devemos continuar a trabalhar para que num futuro não tão distante consigamos recuperar, com sucesso, estas áreas.

O presente trabalho também surge como um meio de sensibilização e de divulgação da problemática que ainda hoje é o Complexo Mineiro de São Domingos, e de todos os seus valores associados, numa tentativa de chamar a atenção para um maior esforço não por parte de todos os já envolvidos, mas por parte dos Arquitectos Paisagistas. É de elevada importância interessarem-se por este tema onde ainda há tanto por fazer e onde temos capacidade para actuar, conjugando técnicas de engenharia, de geoquímica, de ciência dos solos e de produção de biomassa através de espécies autóctones adaptadas com a capacidade criativa e conhecimento dos arquitectos paisagistas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, M. M., Santos, E. S., Magalhães, M. C. F., Batista, M. J. (2012a). São Domingos mine wastes phytostabilization using spontaneous plant species. *In: 9th International Symposium on Environmental Geochemistry, Aveiro, 15th-21th July 2012: Field Guidebook: Multidisciplinary contribution for environmental characterization and improvement at the S. Domingos mining site. Aveiro 2012*, p. 42-49
- Abreu, M. M.; Magalhães, M. C. F. (2009). Phytostabilization of soils in mining areas. Case studies from Portugal. *In: Aachen, L., Eichmann, P. (Eds.), Soil Remediation. Nova Science Publishers, Inc. NY. Pp 297-344.*
- Abreu, M. M.; Santos, E. S.; Magalhães, M. C. F.; Fernandes, E. (2012b). Trace elements tolerance, accumulation and translocation in *Cistus populifolius*, *Cistus salviifolius* and their hybrid growing in polymetallic contaminated mine areas. *Journal of Geochemical Exploration* 123: 52-60.
- Abreu, M.M., Santos, E.S., Ferreira, M., Magalhães, M.C.F., (2012c). *Cistus salviifolius* a promising species for mine wastes remediation. *Journal of Geochemical Exploration*, 113: 86-93. doi:10.1016/j.gexplo.2011.03.007
- Abreu, M.M.; Tavares, M. T.; Batista. M. J. (2008). Potential Use of *Erica andevalensis* and *Erica australis* in phytoremediation of sulphide mine environments: São Domingos, Portugal. *Journal of Geochemical Exploration* 96: 210– 22.
- Agnieszka, B.; Tomasz, C.; Jerzy, W. (2014). Chemical properties and toxicity of soils contaminated by mining activity. *Ecotoxicology* 23, n. 7 (Setembro de 2014): 1234–44.
- Aguiar, J.; Gonçalves, R. (2007). Património paisagístico: os caminhos da transversalidade, APAP 2007. Paisagem Cultural: Um conceito em (Re) Evolução. Retirado de <http://icomos.fa.utl.pt/eventos/apap2007.pdf>
- Aguirre, W.; Fischer, G.; Miranda, D. (2011). Tolerancia a metales pesados a través del uso de micorrizas arbusculares en plantas cultivadas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 5: 141– 53.
- Alvarenga, P.; Fernandes, R. M; de Varennes, A.; Vallini, G.; Duarte, E.; Cunha-Queda, A. C. (2011). Utilização de *Lolium perenne* L. na fitoestabilização controlada de solos degradados por actividades mineiras. *Revista de Ciências Agrárias*, 2011.
- Alvarenga, P.; Gonçalves, A. P.; Fernandes, R. M.; de Varennes, A.; Vallini G.; Duarte, E.; Cunha-Queda, A. C. (2008). Evaluation of composts and liming materials in the

phytostabilization of a mine soil using perennial ryegrass. *Science of The Total Environment* 406: 43– 56.

- Alves, H. (2007). Mina de S. Domingos: breve historial. *In: Memória Alentejana / CEDA*. Nº 21/22 Outono - Inverno 2007. - Lisboa: Centro de Estudos Documentais do Alentejo, 2007. - p. 30-37.
- Barranha, H. (org.) (2016). Património Cultural: conceitos e critérios fundamentais. IST Press e ICOMOS-Portugal. Lisboa.
- Brown S. L.; Henry, C. H.; Chaney, R.; Compton, H.; Volder, P. S. D. (2003). Using municipal biosolids in combination with other residuals to restore metal-contaminated areas. *Plant Soil* 249:203–215
- Candeias, A.; Mirão, J. (2007). Minas abandonadas - um problema sério. *Diário do Sul*, Maio.
- Carrasco, A.; Ortiz-Ruiz, V.; Martinez-Gutierrez, R.; Tomas, V.; Tudela, J. (2015). *Lavandula stoechas* essential oil from Spain: Aromatic profile determined by gas chromatography–mass spectrometry, antioxidant and lipoxygenase inhibitory bioactivities. *Industrial Crops and Products* 73: 16-27.
- Carrenho, R.; Alves, L. J.; Santos, I. R. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi, interactions with heavy metals and rehabilitation of abandoned mine lands. *In: Prasad, M. N. V.; Favas, P. J. C.; Maiti, S. K. (ed) Bio-Geotechnologies for mine site rehabilitation*. Elsevier. pp. 271-272.
- Chaney, R.L.; Malik M.; Li, Y.M.; Brown, S.L.; Brewer, E.P.; Angle, J.S.; Baker, A.J.M.. (1997). Phytoremediation of soil metals. *Current opinions in biotechnology* 8:279-284.
- Chatterjee, S.; Mitra, A.; Datta, S.; Veer, V. (2013). Phytoremediation protocols: an overview. *In: Plant-Based Remediation Processes*, Springer.
- Decreto-Lei nº 86/90, de 16 de Março. *Diário da República*, nº 63/90 - SÉRIE I, de 16 de Março de 1990. Ministério da Indústria e Energia. Lisboa
- Favas, P. J. C.; Pratas, J.; Varun, M.; D' Souza, R.; Paul, M.S. (2014). Phytoremediation of soils contaminated with metals and metalloids at mining areas: potential of native flora. *In: Soriano, M. C. H. (ed.) Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*. InTech.
- Fernandez, G.; Ramos, A. G. (2004). El patrimonio industrial-minero como recurso turístico cultural: el caso de un pueblo-fábrica em Argentin. *PASOS / Revista de turismo y patrimonio cultural*, Buenos Aires, Argentina, v.2, p. 101-109
- Ferreira, A. R. L. (2014). Potencial de plantas estuarinas na remediação de produtos farmacêuticos e de cuidado pessoal. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia do Ambiente, Perfil de Engenharia de Sistemas Ambientais, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa.

- Fundação Serrão Martins. (2017). Disponível em: <http://www.fundacaoserraomartins.pt/>
- George, H. (1990). Progress and Poverty: An Inquiry into the Cause of Industrial Depressions and of Increase of Want with Increase of Wealth ... the Remedy. New York: Robert Schalkenbach Foundation.
- Gerhardt, K. E.; Gerwing, P. D.; Greenberg, B. M. (2016). Opinion: taking phytoremediation from proven technology to accepted practice. Plant Science 256: 170-185. Elsevier.
- Godinho, B.; Abreu, M.M.; Magalhães, M.C. (2010). Avaliação biogeoquímica dos solos e do medronheiro na área mineira da Panasqueira. Revista de Ciências Agrárias, 33 (1): 226-235
- Gonçalves, A. (2016). Exploração mineira e impactes ambientais: o caso das Minas da Panasqueira. Coimbra.
- Hénault-Ethier, L. (2016). La Phytoremédiation. Technical Report. pp. 4-6.
- Hooda, V. (2007). Phytoremediation of toxic metals from soil and wastewater. J. Environ. Biol. 28: 367–376.
- Instituto Geológico e Mineiro - IGM (1999). Regras de Boa Prática no Desmonte a Céu Aberto. Disponível em: http://eGeo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/boa_pratica/indice.htm
- IUSS Working Group WRB. (2006). World reference base for soil resources. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome. p. 96
- Jagdale, S.; Chabukswar, A. (2015). Phyto-Remediation: Using plants to clean up soils: Phyto-Remediation *In*: Rathoure, Ashok K., e Vinod K. Dhatwalia, eds. Toxicity and waste management using bioremediation. Advances in Environmental Engineering and Green Technologies (AEEGT) Book Series. Hershey PA: Engineering Science Reference, an imprint of IGI Global.
- Javaid, A. (2007). Allelopathic interactions in mycorrhizal associations. Allelopathy Journal 20 (1): 29-42.
- Johnston, D.; Potter, H.; Jones, C.; Rolley, S.; Watson, I.; Pritchard, J. (2008). Abandoned mines and the water environment. Bristol: Great Britain e Environment Agency.
- Koptsik, S.; Koptsik, G.; Korotkov, V.; Spiers, G.; Beckett, P. (2018). Successes in application of biotechnologies to mine land remediation in the russian sub-artic. *In*: Prasad, M. N. V.;

Favas, P. J. C.; Maiti, S. K. (ed) Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation. Elsevier. p. 547

- Laneiro, C. (2012). Avaliação da biodisponibilidade de metais em solos contaminados por atividades mineiras: métodos químicos, bioquímicos e ecotoxicológicos. Mestrado em Engenharia do Ambiente. Instituto Politécnico de Beja. Escola Superior Agrária.
- LNEG, Caracterização dos Solos. Acedido em 20 Janeiro, 2018 em: <http://www.lneg.pt/download/3303>
- Lottermoser, B. (2010). Mine wastes: characterization, treatment and environmental impacts. Springer: New York
- Machado, J. P. (coord.) (1981). Grande Dicionário da Língua Portuguesa. Volume VII. Amigos do Livro, Editores, Lda. Lisboa.
- Macías, F.; Olano, C. (2012). Didáctica de la Mina de Touro: Procesos de recuperación de suelos y aguas hiperácidas de minas de sulfuros metálicos mediante la valorización biogeoquímica de residuos. Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología. pp. 140-145.
- Macías, F.; Bao, M.; Macias-Garcia, F.; Arbestian, M. C. (2007). Valorización biogeoquímica de residuos mediante la elaboración de tecnosolos con diferentes aplicaciones ambientales. Águas & Resíduos. Setembro a Dezembro.
- Mahar, A.; Wang, P.; Ali, A.; Awasthi, M. K.; Lahori, A. H.; Wang, Q.; Li, R.; Zhang, Z. (2015). Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. Ecotoxicology and Environmental Safety 126: 111-121- Elsevier
- Matos, J. X.; Oliveira, J. T. (2007). Geologia, património geológico-mineiro e biodiversidade na região compreendida entre Mina de São Domingos e Pomarão. *In*: Comunicações do II Encontro de Professores de Geociências do Alentejo e Algarve, Mértola, 12-13 de Out.
- Matos, J. X.; Oliveira, V. (2003). Mina do Lousal (Faixa Piritosa Ibérica) - Percorso geológico e mineiro pelas cortas e galerias da antiga mina. IGME, Pub. Museo Geominero, Nº2, Espanha, pp. 117-128.
- Matos, J. X.; Soares, S.; Cardoso, C. (2006b). Caracterização geológica-geotécnica da corta da Mina de S. Domingos, Faixa Piritosa Ibérica. FPI. X Cong. Nac.
- Matos, J., Pereira, Z.; Oliveira, J. T. (2010). A Rota da Pirite, uma rede de sítios geológicos e mineiros dedicada ao património e história da faixa piritosa ibérica. Revista Electrónica de

Ciências da Terra Geosciences On-line Journal, GEOTIC – Sociedade Geológica de Portugal
VIII Congresso Nacional de Geologia, 18, n. 18.

- Matos, J.X.; Martins, L.P. (2006). Reabilitação ambiental de áreas mineiras do sector português da Faixa Piritosa Ibérica: Estado da Arte e Perspectiva Futuras. Boletín Geológico y Minero, 117 (2): 289-304
- Mazzuco, K. (2008). Uso da *Canavalia ensiformis* como fitorremediador de solos contaminados por chumbo. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Florianópolis.
- Meadows, D. H.; Club of Rome (ed). (1972). The Limits to growth; a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind. New York: Universe Books.
- Mejía, P.; Andreoli, F.; Andreoli, C.; Serrat, B. (2014). Metodologia para seleção de técnica de fitorremediação em áreas contaminadas. Revista Brasileira de Ciências Ambientais – Número 31 – Março.
- Ministerial Council on Mineral and Petroleum Resources (MCMPR). (2010). Strategic framework for managing abandoned mines in the minerals industry.
- Pilon-Smits, E.; Freeman, J. L. (2006). Environmental cleanup using plants: biotechnological advances and ecological considerations. Frontiers in Ecology and the Environment, 4, 203-210
- Pilon-Smits, Elizabeth. (2005). Phytoremediation. Annual Review of Plant Biology 56, n. 1: 15–39.
- Pivetz, B. E. (2001). Ground water issue: phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous waste sites. EPA/540/S-01/500, pp 1–36
- Pratas, J.; Favas, P. J. C.; D'Souza, R.; Varun, M.; Paul, M. S. (2014). Metais pesados em solos e vegetação espontânea da área de uma mina de chumbo, mina de Barbadalhos, Centro de Portugal. Comunicações Geológicas 101, Especial II, 1047-1050.
- Quelhas dos Santos, J. (2002). Fertilização. Fundamentos da utilização dos adubos e correctivos. Publicações Europa-América, Lda. 3ª Edição. Agosto.
- Quental, L.; Bourguignon, A.; Sousa, A.J.; Batista, M.J.; Brito, M.G.; Tavares, T.; Abreu, M.M.; Vairinho, M.; Cottard, F. (2002). MINEO Southern Europe environment test site. Contamination impact mapping and modelling — Final Report. IST-1999-10337

- Reis, J. (1987). A industrialização num país de desenvolvimento lento e tardio: Portugal, 1870-1913. *Análise Social*, 23 (96), terceira série, 207-227. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/41010620>
- Reeves, R. D.; Baker, A. J. M. (2000). *Phytoremediation of toxic metals*. Wiley, New York. pp. 193 – 229.
- Ribeiro, C. M. (2005). Estabelecimento de uma rotina laboratorial para análise química de sedimentos e sua aplicação a sedimentos continentais do minho NW Portugal: Contribuição para a reconstituição paleoambiental da região. Mestrado em Ciências do Ambiente, Universidade do Minho.
- Rosa, A. S. (2013). Fitorremediação de pesticidas utilizados em lavouras de arroz através do cultivo hidropônico de alface (*Lactuca sativa* L.). Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, Fundação Universidade Federal do Pampa.
- Rossini-Oliva, S.; Abreu, M. M.; Leidei, E. O. (2018). A review of hazardous elements tolerance in a metallophyte model species: *Erica andevalensis*. *Geoderma* 319: 43-51.
- Sánchez, A. G.; Ayuso, E. A. (2008). Soil remediation in mining polluted areas. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, Department of Environmental Geochemistry, IRNASA, CSIC, n. 10.
- Santos, E. S.; Abreu, M. M.; Nabais, C.; Magalhães, M. C. F. (2012). Trace element distribution in soils developed on *gossan* mine wastes and *Cistus ladanifer* L. tolerance and bioaccumulation. *Journal of Geochemical Exploration* 123 (2012) 45-51
- Santos, E. S.; Arán, D.; Abreu, M. M.; de Varennes, A. (2018). Engineered soils using amendments for *in situ* rehabilitation of mine lands. In: Prasad, M. N. V.; Favas, P. J. C.; Maiti, S. K. (ed) *Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation*. Elsevier. pp. 131-141
- Santos, E.; Abreu, M. M.; Batista, M. J.; Magalhães, M. C. F.; Fernandes, E. (2014). Inter-population variation on the accumulation and translocation of potentially harmful chemical elements in *Cistus ladanifer* L. from Brancanes, Caveira, Chança, Lousal, Neves Corvo and São Domingos mines in the Portuguese Iberian Pyrite Belt. *J Soils Sediments* 14: 758-772.
- Santos, E.; Abreu, M. M.; Magalhães, M. C. (2017). Hazard assessment of soils and spoils from the Portuguese Iberian Pyrite Belt mining areas and their potential reclamation. In: Bech, J.; Bini, C.; Pashkevich, M. A. (ed.). *Assessment, Restoration and Reclamation of Mining Influenced Soils*. Academic Press. Elsevier. pp. 65-70.

- Santos, E.; Abreu, M. M.; Saraiva, J. A. (2016). Mutelemental concentration and physiological responses of *Lavandula pedunculata* growing in soils developed on different mine wastes. *Environmental Pollution* 213: 43-52.
- Santos, E.; Abreu, M. M.; Saraiva, J.; Nabais, C. (2011a). Actividades enzimáticas antioxidativas em *Cistus ladanifer* L. provenientes de áreas não contaminadas em elementos vestigiais. *Revista de Ciências Agrárias*.
- Santos, E.; Balseiro-Romero, M.; Abreu, M. M.; Macías, F. (2017b). Bioextracts of *Cistus ladanifer* L. growing in São Domingos mine as source of valuable compounds. *Journal of Geochemical Exploration* 174: 84-90
- Santos, E.; Ferreira, M.; Abreu, M. M. (2011b). Contribuição de *Cistus Ladanifer* L. e *Cistus Salviifolius* L. na recuperação de áreas mineiras da faixa piritosa ibérica. *Revista de Ciências Agrárias*, 34 (2), 21-31.
- Sarwar, N.; Imran, M.; Shaheen, M. R.; Ishaque, W.; Kamran, M. A.; Matloob, A.; Rehim, A.; Hussain, S. (2016). Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. *Chemosphere* 171: 710-721.
- Schnepf, A.; Roose, T.; Schweiger, P. (2008). Growth model for arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of the Royal Society Interface* 5, 773-784
- Sheoran, V.; Sheoran, A. S.; Poonia, A. P. (2013). Phytostabilization of metalliferous mine waste. *Journal of Industrial Pollution Control*. Acedido a 20 de Janeiro 2018, disponível em: <http://www.icontrolpollution.com/articles/phytostabilization-of-metalliferous-mine-waste-.php?aid=45777>.
- Silva, M. (2016). Paisagens industriais em transformação - reconversão da área envolvente da antiga fábrica de óleo de fígado de bacalhau em espaço público. Cais Do Ginjal, Almada. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Arquitectura Paisagista, Instituto Superior de Agronomia.
- Silva, M. J. R. P. (2012). Mason & Barry e a construção da mina de São Domingos. Indústria, turismo, globalização. Programa de estudos anglísticos. Doutoramento em Estudos de Literatura e de Cultura - Especialidade de Estudos Ingleses. Universidade de Lisboa - Faculdade de Letras.
- Simões, I. (2012). Influência de actividades mineiras na acumulação de elementos traço em culturas utilizadas na alimentação humana: O estudo de caso de minas situadas na Faixa Piritosa Ibérica. Mestrado em Engenharia Alimentar, Instituto Politécnico de Beja - Escola Superior Agrária de Beja

- Singh, D.; Tiwari, A.; Gupta, R. (2012). Phytoremediation of lead from wastewater using aquatic plants. *Journal of Agricultural Technology* Vol. 8(1): 1-11.
- Soares de Oliveira, A.M. (2002). Relação homem/natureza no modo de produção capitalista *Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, Universidad de Barcelona, Vol. VI, nº 119 (18). Disponível em: <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn119-18.htm>
- Souza, M. R. F. (2010). Fitorremediação de solo contaminado por metais pesados. Belo Horizonte, 2010. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Ciências Biológicas, Centro Universitário Metodista Izabela.
- Tavares, M. T.; Abreu, M. M.; Vairinho, M. M.; Sousa, A. J.; Quental, L. (2009). Comportamento geoquímico de alguns elementos vestigiais na envolvente das Minas de S. Domingos, Alentejo: áreas da Tapada e do Telheiro.
- Tripti, A. K.; Prasad, M. N. V.; Maiti, S. K.; Favas, P. J. C. (2018). Mycoremediation for mine site rehabilitation. *in* Prasad, M. N. V.; Favas, P. J. C.; Maiti, S. K. (ed) *Bio-geotechnologies for mine site rehabilitation*. Elsevier. p. 234
- Ullah, A.; Heng, S.; Munis, M. F. H.; Fahad, S., Yang, X. (2015). Phytoremediation of heavy metals assisted by plant growth promoting (PGP) bacteria: A review. *Environmental and Experimental Botany* 117 (2015) 28-40.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. (2001). Brownfields technology primer: Selecting and using phytoremediation for site cleanup. EPA 542-R-01-006.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. (2012). A citizen's guide to vertical engineered barriers.
- White, L. (1967). The Historical Roots of Our Ecologic Crisis. *In* Cunningham, L. (1977). *Brother Francis. An Anthology of Writings by and about St. Francis of Assisi*, 2.a ed., 105–20. Huntington, Indiana, USA: Pyramid Publications [for] Our Sunday Visitor, Inc.
- Wuana, R. A.; Okieimen, F. E. (2011). Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *ISRN Ecology* Volume 2011: Article ID 402647
- Xie, P. F. (2015). Industrial heritage tourism. *Tourism and cultural change* 43. Bristol ; Buffalo: Channel View Publications.

ANEXO A – Vantagens e desvantagens de cada técnica de fitorremediação.

Técnica	Descrição	Vantagens	Desvantagens
Fitoextração	Absorção dos contaminantes pelo sistema radicular e acumulação na parte aérea.	Técnica eficiente que utiliza plantas hiperacumuladoras que armazenam altas concentrações de metais específicos nas partes aéreas.	Após remoção da parte aérea, que pode ser colhida no fim do período de crescimento vegetal, o que lhe fazer?
Fitoestabilização / Fito-imobilização	Utilização de plantas para reduzir mobilidade e biodisponibilidade dos contaminantes no solo.	Plantas estabilizam os contaminantes e impedem que os solos sejam expostos a erosão eólica e hídrica reduzindo a migração dos contaminantes.	Os contaminantes continuam no local. Poderá ser necessário a adição de correctivos no solo.
Fitodegradação / Fitotransformação	Absorção, metabolização e degradação dos contaminantes dentro dos tecidos vegetais ou degradação dos contaminantes orgânicos no solo.	Transformação de moléculas complexas em moléculas simples.	Apenas poluentes orgânicos podem ser fitorremediados via degradação
Fitoestimulação / Rizodegradação	Degradação dos contaminantes orgânicos através da actividade microbiana e de fungos.	Baixo custo de instalação e manutenção. Degradação ocorre ao nível da rizosfera e a planta não absorve o contaminante.	Aplicação com compostos orgânicos hidrofóbicos.
Fitofiltração	As plantas são mantidas num sistema hidropónico pelo qual os efluentes passam e são filtrados pelas raízes.	Absorção, concentração e/ou precipitação dos metais e elementos radioactivos de meios aquosos através do sistema radicular.	Utilizado em situações com elevado volume de água e baixa concentração de contaminantes.
Fitovolatilização	Absorção e incorporação dos poluentes no tecido da planta e posterior conversão para a sua forma volátil e consequente libertação através das folhas e das raízes.	Possibilidade de remoção completa do contaminante sob a sua forma gasosa menos tóxica, e uma vez na atmosfera, podem sofrer processos como a fotodegradação.	É necessário ter em atenção os níveis e as propriedades tóxicas dos vapores ou gases libertados por esta técnica, pois a partir do momento em que entram na atmosfera podem constituir um factor de risco ambiental.

ANEXO B – Representação dos valores médios de inclinação dos taludes.



ANEXOS C – Proposta de Projecto Paisagístico para uma Vertente da Mina de São Domingos

Folha 1: Localização e Enquadramento Geográfico – Telheiro

Folha 1.1: Área de Intervenção – Áreas Contaminadas e Não Contaminadas

Folha 1.2: Hidrologia da Área do Telheiro

Folha 2: Plano Geral

Folha 3: Perfis e Vistas do Local

Folha 3.1: Modelação do Terreno

Folha 3.2: Modelação do Terreno – Áreas de Aterro e Escavação

Folha 4: Rede de Drenagem – Áreas de Maior Acumulação de Águas Superficiais

Folha 4.1: Rede de Drenagem – Esquema de Retenção e Drenagem de Águas Superficiais

Folha 5: Pormenor de Construção – Valas de Drenagem

Folha 6: Pormenor de Construção – Tecnosolo

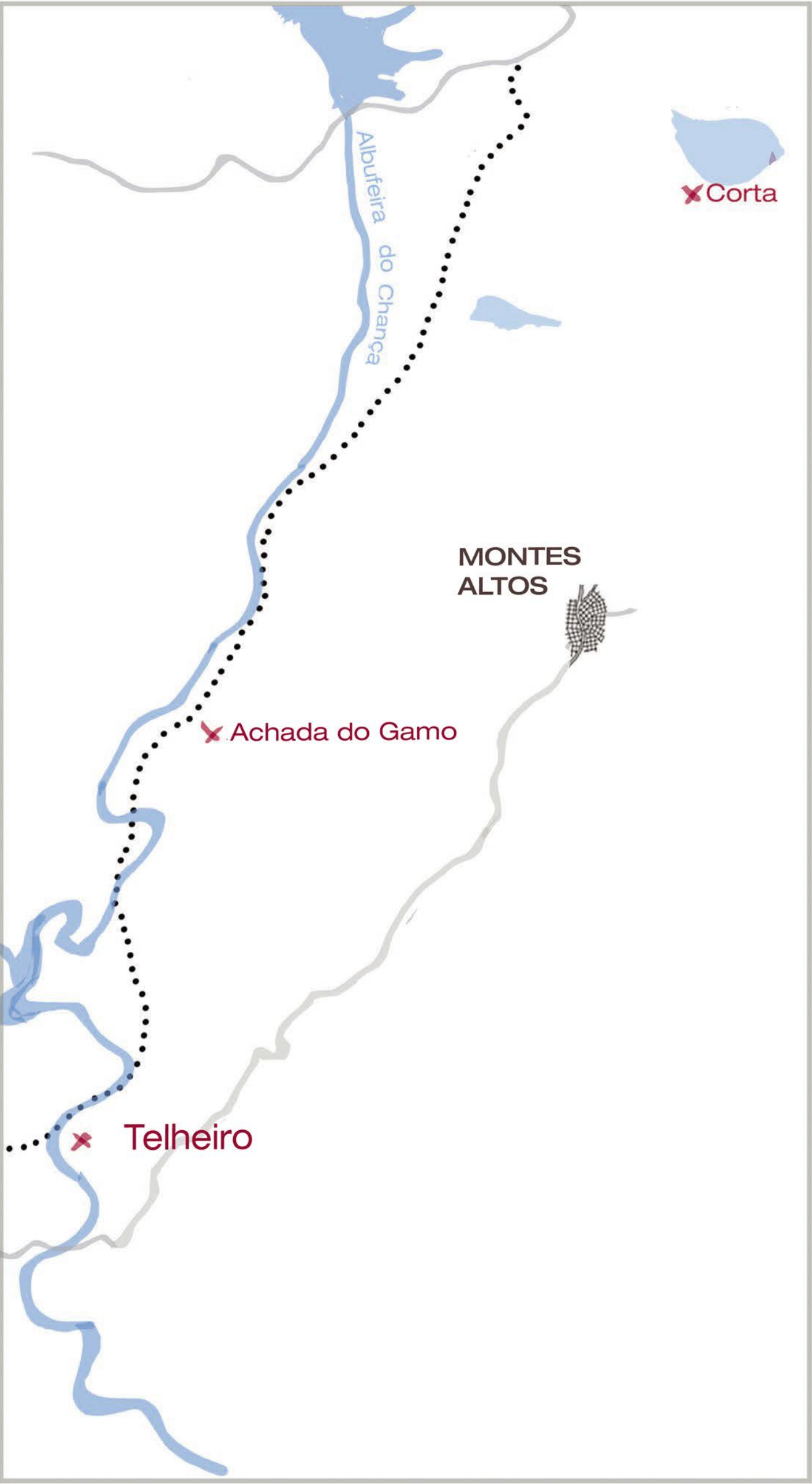
Folha 7: Plano de Plantação – Vegetação Existente

Folha 7.1: Plano de Plantação – Espécies Herbáceas e Arbustivas

Folha 7.1a: Plano de Plantação – Áreas de Sementeira de Herbáceas

Folha 7.2: Módulos de Plantação

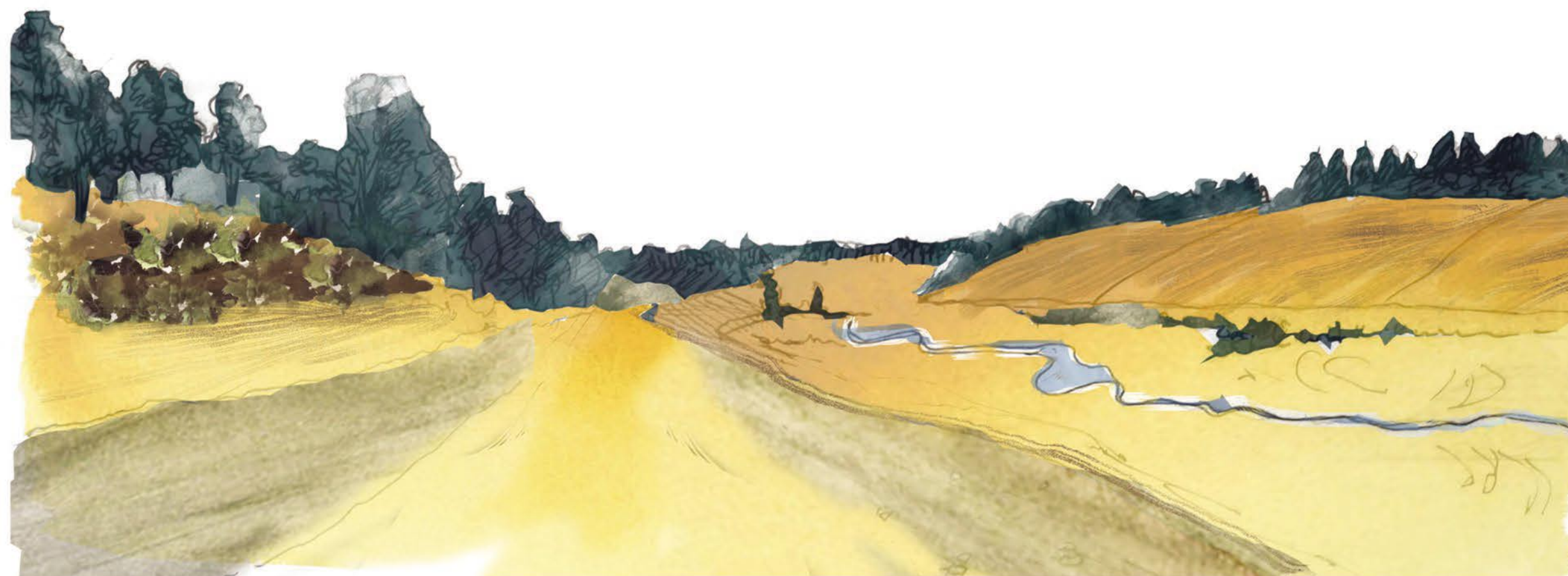
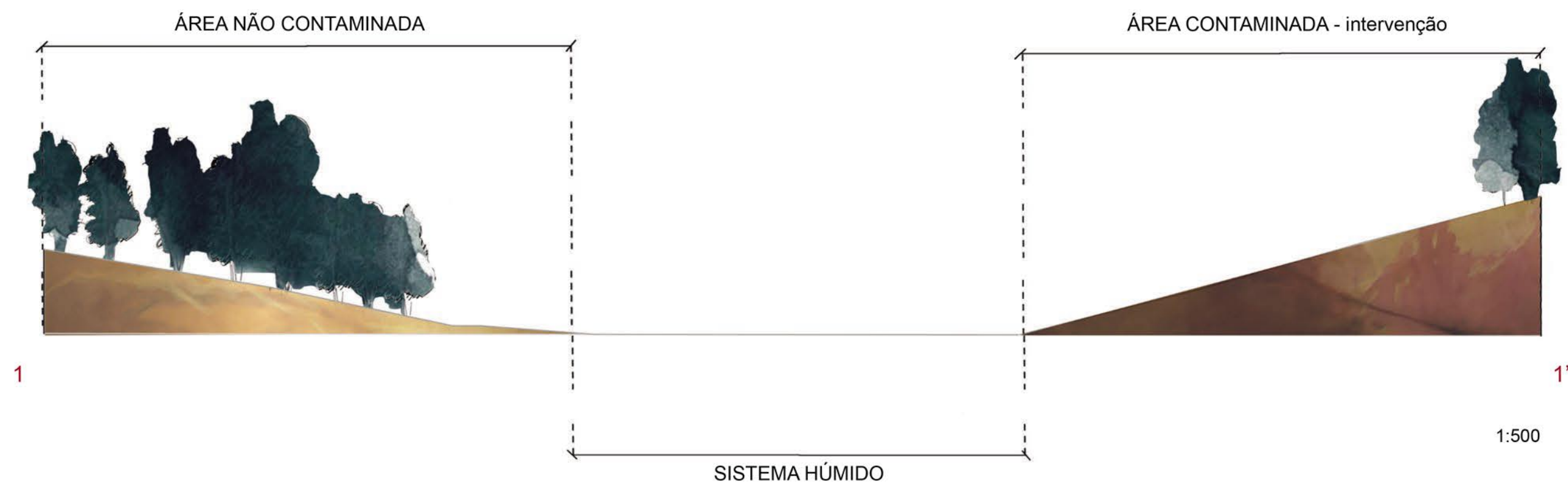
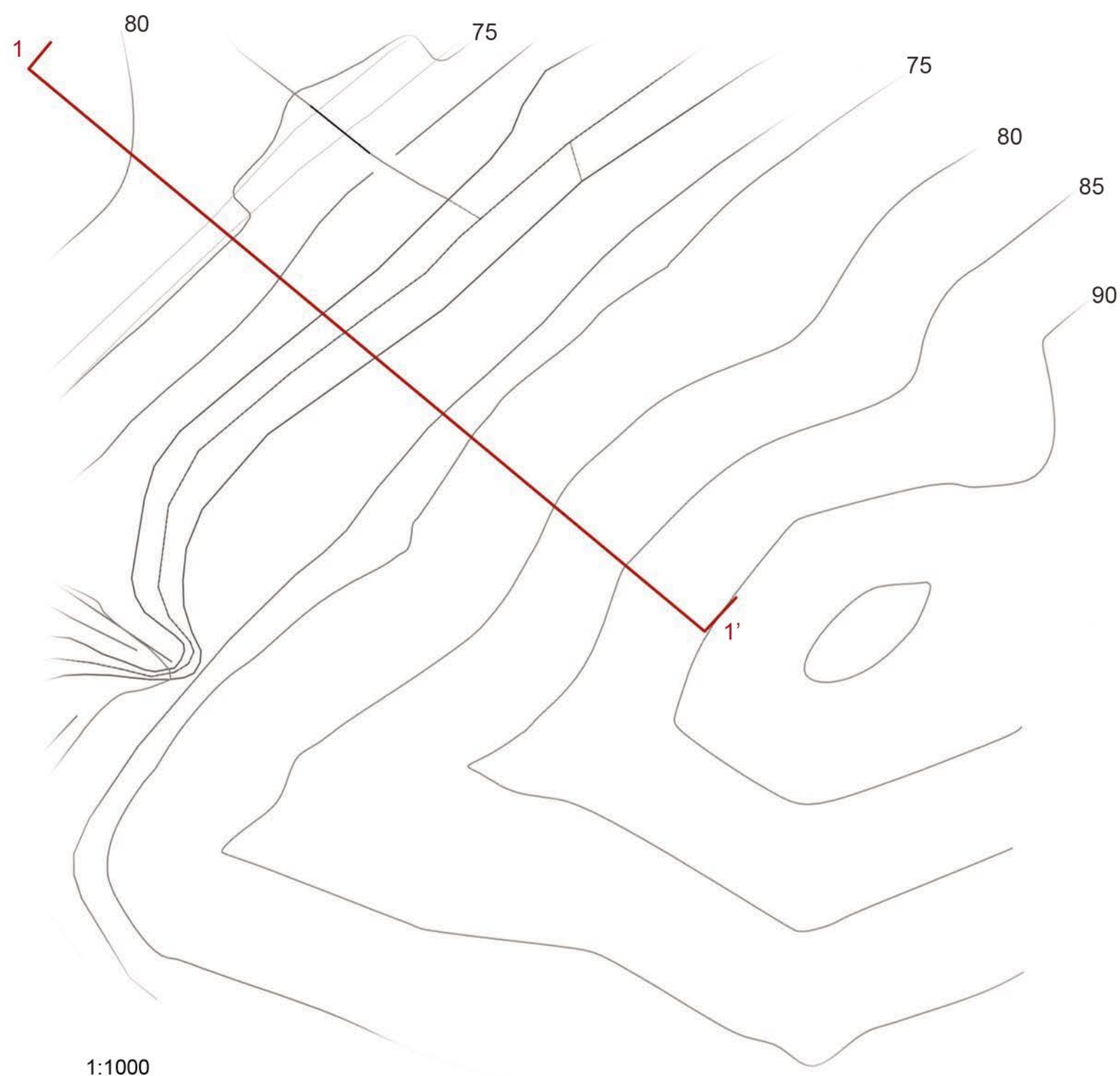
Folha 7.3: Plano de Plantação – Evolução da Vegetação




1:2000

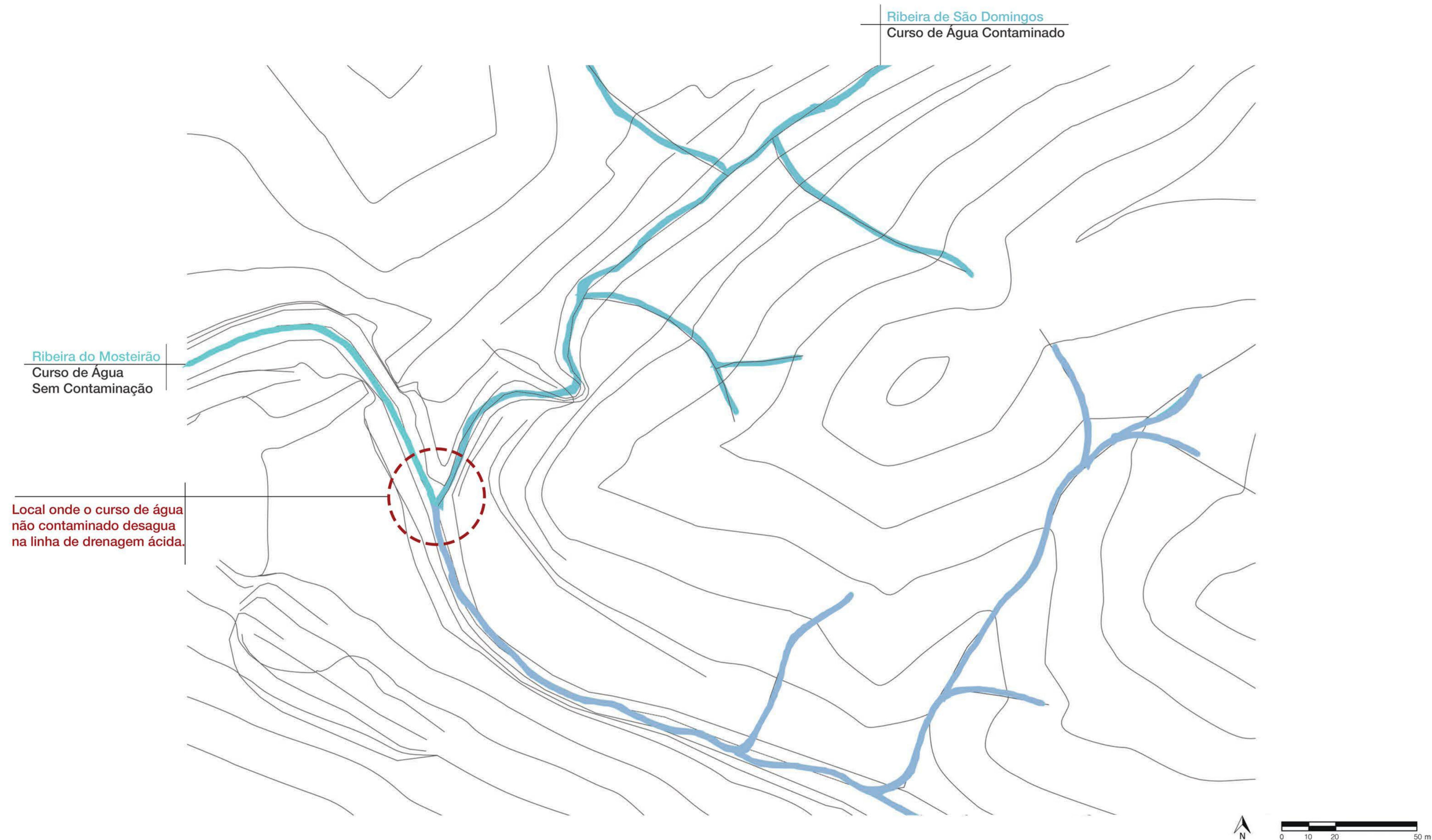


MINA DE SÃO DOMINGOS, MÉRTOLA, PORTUGAL		
LOCALIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO - TELHEIRO		
TRABALHO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITECTURA PAISAGISTA	FOLHA	1
INFLUÊNCIA DA ACÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE E ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE PAISAGENS MINEIRAS. PROPOSTA DE PROJECTO PAISAGÍSTICO PARA UMA VERTENTE DA MINA DE SÃO DOMINGOS.		
LEONOR FROES DAVID CRUZ DE CARVALHO		
JANEIRO 2019		



Sem Escala

MINA DE SÃO DOMINGOS, MÉRTOLA, PORTUGAL		
ÁREA DE INTERVENÇÃO - ÁREAS CONTAMINADAS E NÃO CONTAMINADAS		
TRABALHO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITECTURA PAISAGISTA	FOLHA	1.1
INFLUÊNCIA DA ACÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE E ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE PAISAGENS MINEIRAS. PROPOSTA DE PROJECTO PAISAGÍSTICO PARA UMA VERTENTE DA MINA DE SÃO DOMINGOS.		
LEONOR FROES DAVID CRUZ DE CARVALHO		
JANEIRO 2019		




MINA DE SÃO DOMINGOS, MÉRTOLA, PORTUGAL	
HIDROLOGIA DA ÁREA DO TELHEIRO	
TRABALHO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITECTURA PAISAGISTA	FOLHA 1.2
INFLUÊNCIA DA ACÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE E ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE PAISAGENS MINEIRAS. PROPOSTA DE PROJECTO PAISAGÍSTICO PARA UMA VERTENTE DA MINA DE SÃO DOMINGOS.	
LEONOR FROES DAVID CRUZ DE CARVALHO	
JANEIRO 2019	



LEGENDA			
	Localização de Perfis pormenores e situações no terreno		Mistura de Herbáceas revestimento de taludes
	Valas de Crista e Pé de Talude favorecer infiltração das águas superficiais		Margens do Curso de Água
	Localização dos Pormenores de Construção		Limite de Intervenção
	Vegetação Arbustiva & Herbácea patamares		
	Afloramento de Xistos redução da velocidade das águas superficiais e consequentemente redução de erosão do solo		



MINA DE SÃO DOMINGOS, MÉRTOLA, PORTUGAL		
PLANO GERAL		ESCALA
TRABALHO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITECTURA PAISAGISTA		FOLHA 2
INFLUÊNCIA DA ACÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE E ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE PAISAGENS MINEIRAS. PROPOSTA DE PROJECTO PAISAGÍSTICO PARA UMA VERTENTE DA MINA DE SÃO DOMINGOS.		 INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA <i>Universidade de Lisboa</i>
LEONOR FROES DAVID CRUZ DE CARVALHO		
JANEIRO 2019		



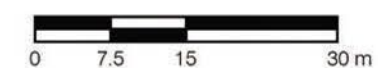
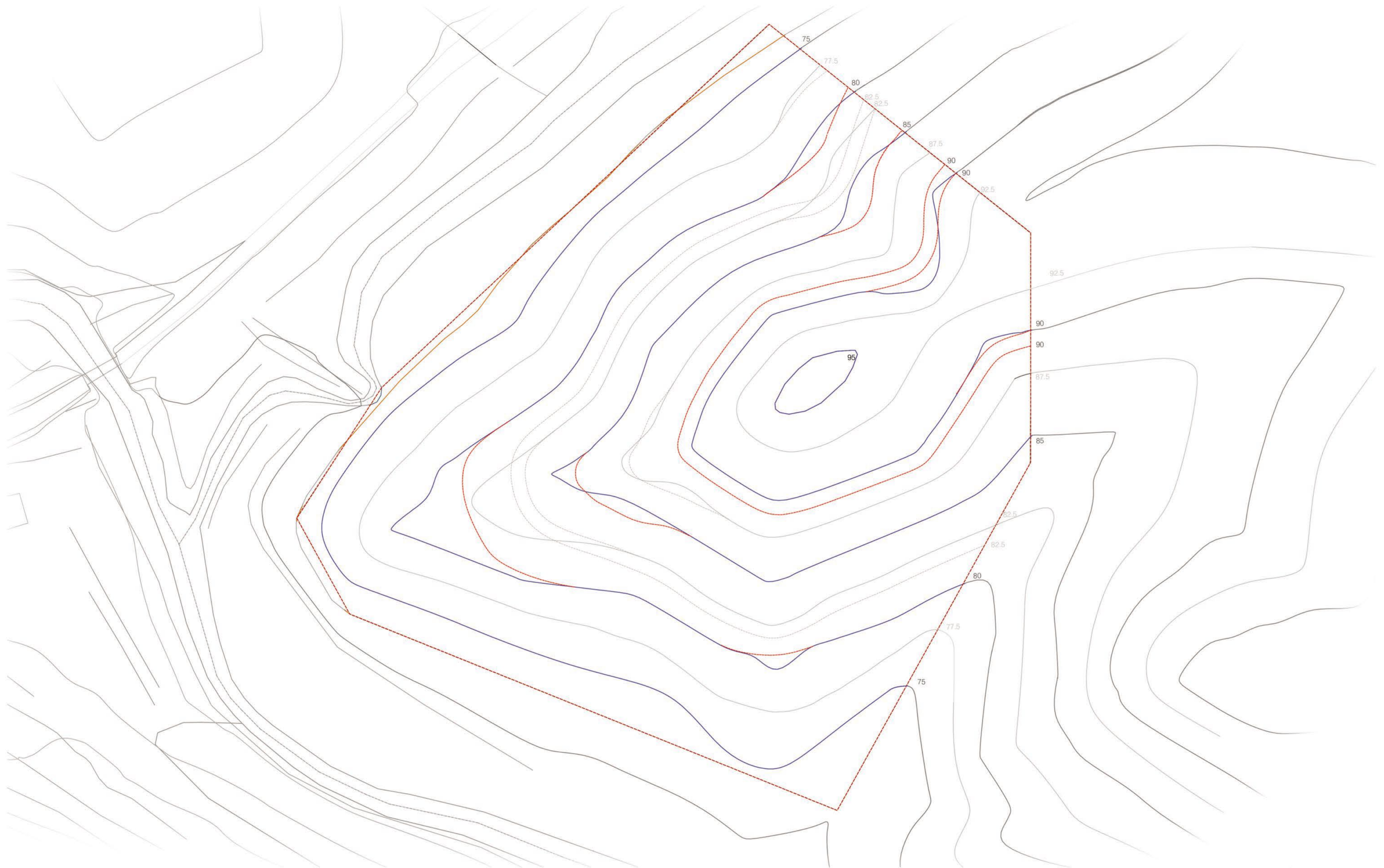
BB' 1:200



EE' 1:100

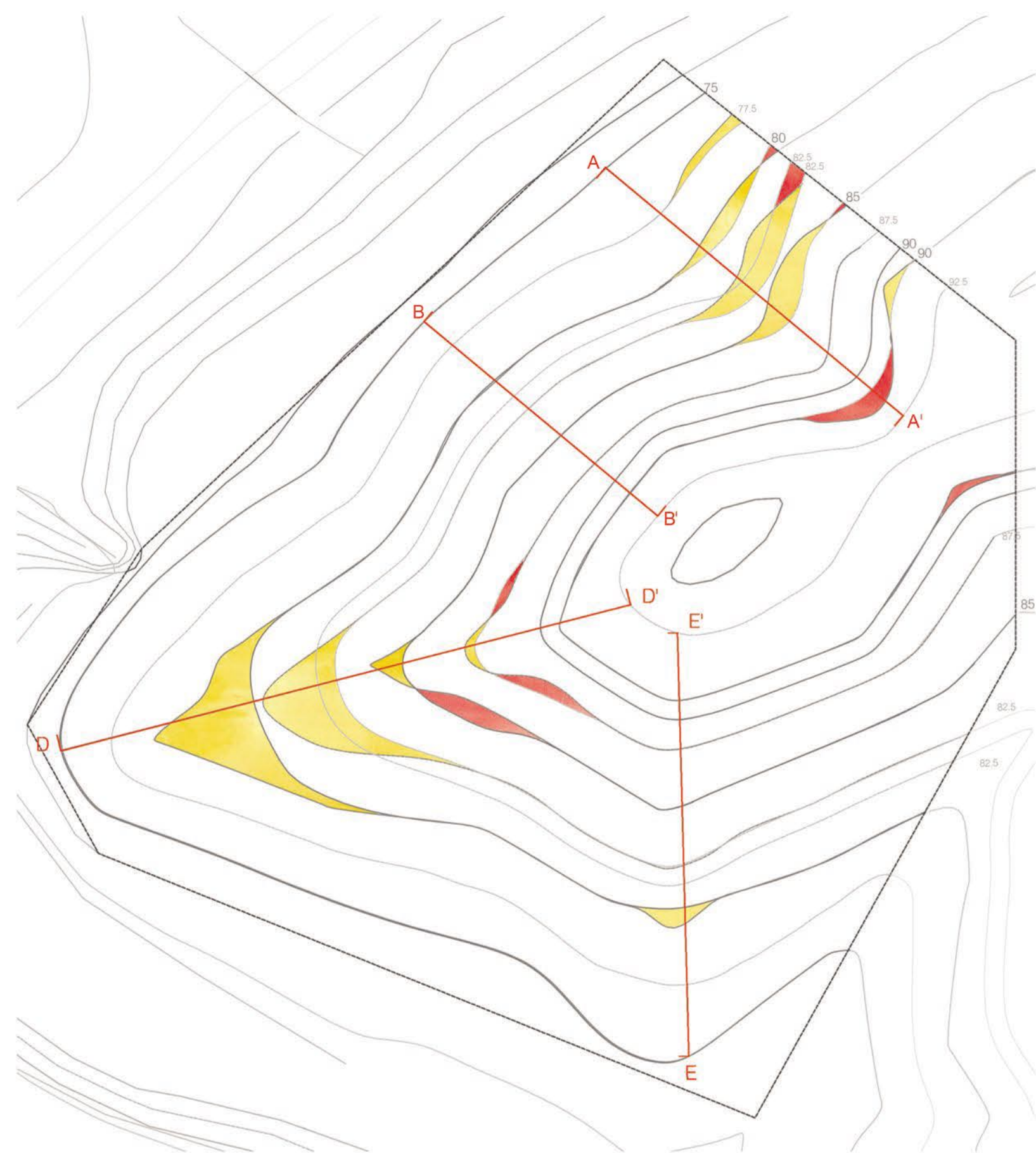


MINA DE SÃO DOMINGOS, MÉRTOLA, PORTUGAL	
PERFIS E VISTAS DO LOCAL	
TRABALHO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITECTURA PAISAGISTA	FOLHA 3
INFLUÊNCIA DA ACÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE E ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE PAISAGENS MINEIRAS. PROPOSTA DE PROJECTO PAISAGÍSTICO PARA UMA VERTENTE DA MINA DE SÃO DOMINGOS.	
LEONOR FROES DAVID CRUZ DE CARVALHO	
JANEIRO 2019	

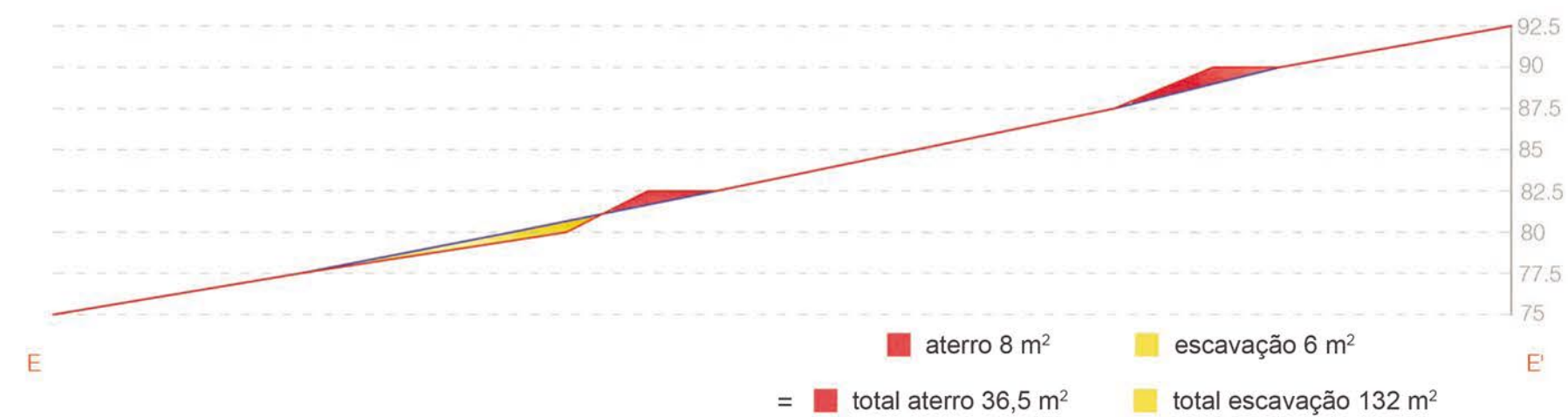
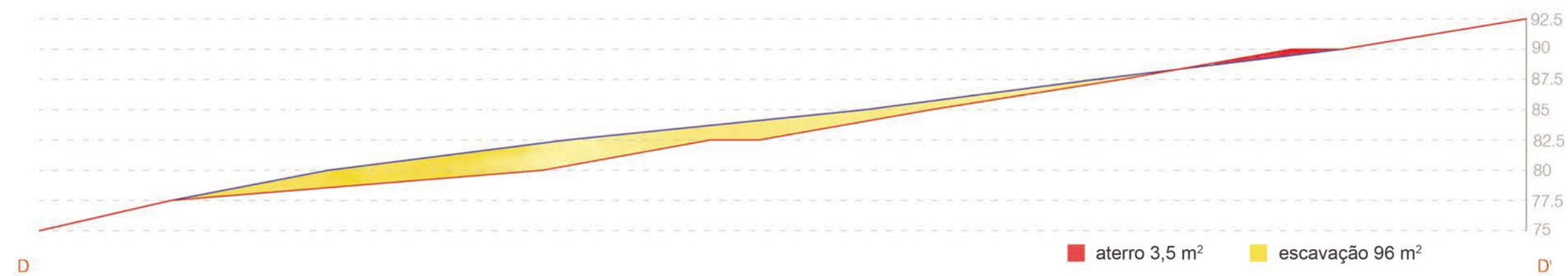
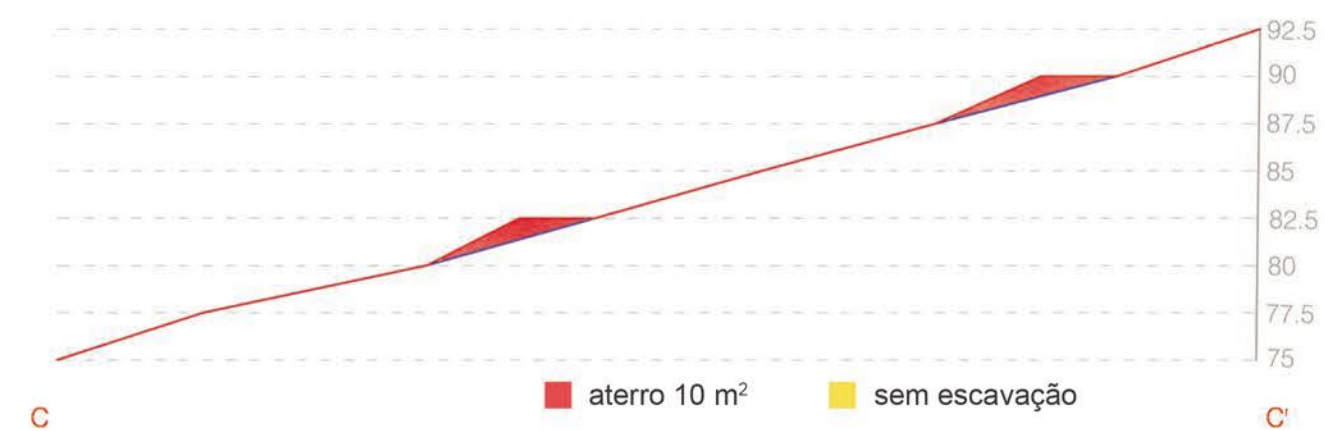
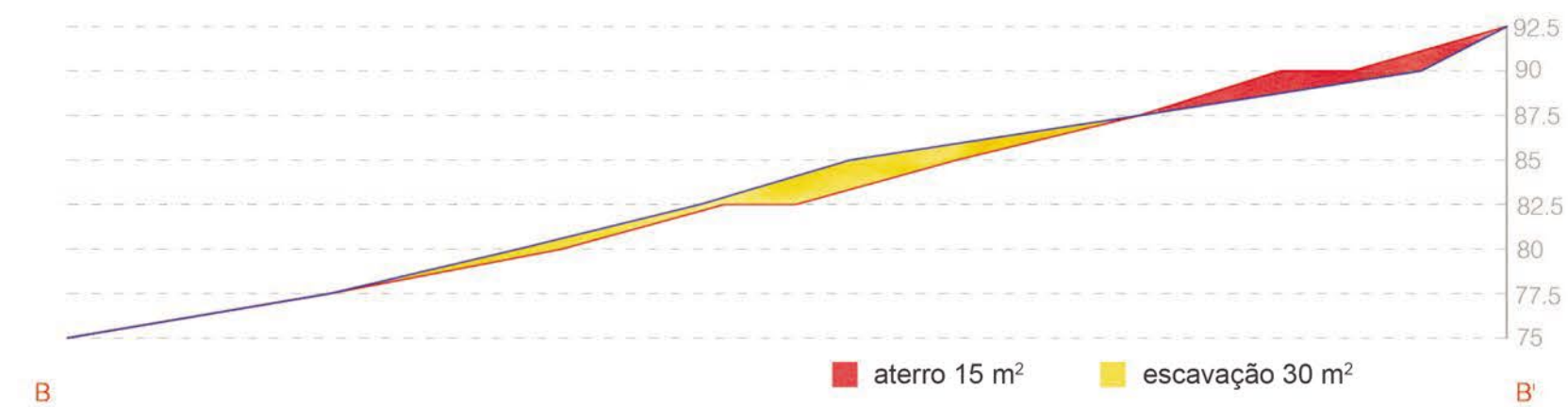


LEGENDA			
	Curvas de Nível Principais Existentes (equidistância 5m)		Curvas de Nível Secundárias Existentes (equidistância 2.5m)
	Curvas de Nível Principais Propostas (equidistância 5m)		Curvas de Nível Secundárias Propostas (equidistância 2.5m)
	Limite Escarpa Natural		Limite de Intervenção

MINA DE SÃO DOMINGOS, MÉRTOLA, PORTUGAL	
MODELAÇÃO DO TERRENO	ESCALA
TRABALHO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITECTURA PAISAGISTA	FOLHA 3.1
INFLUÊNCIA DA ACÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE E ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE PAISAGENS MINEIRAS. PROPOSTA DE PROJECTO PAISAGÍSTICO PARA UMA VERTENTE DA MINA DE SÃO DOMINGOS.	
LEONOR FROES DAVID CRUZ DE CARVALHO	JANEIRO 2019




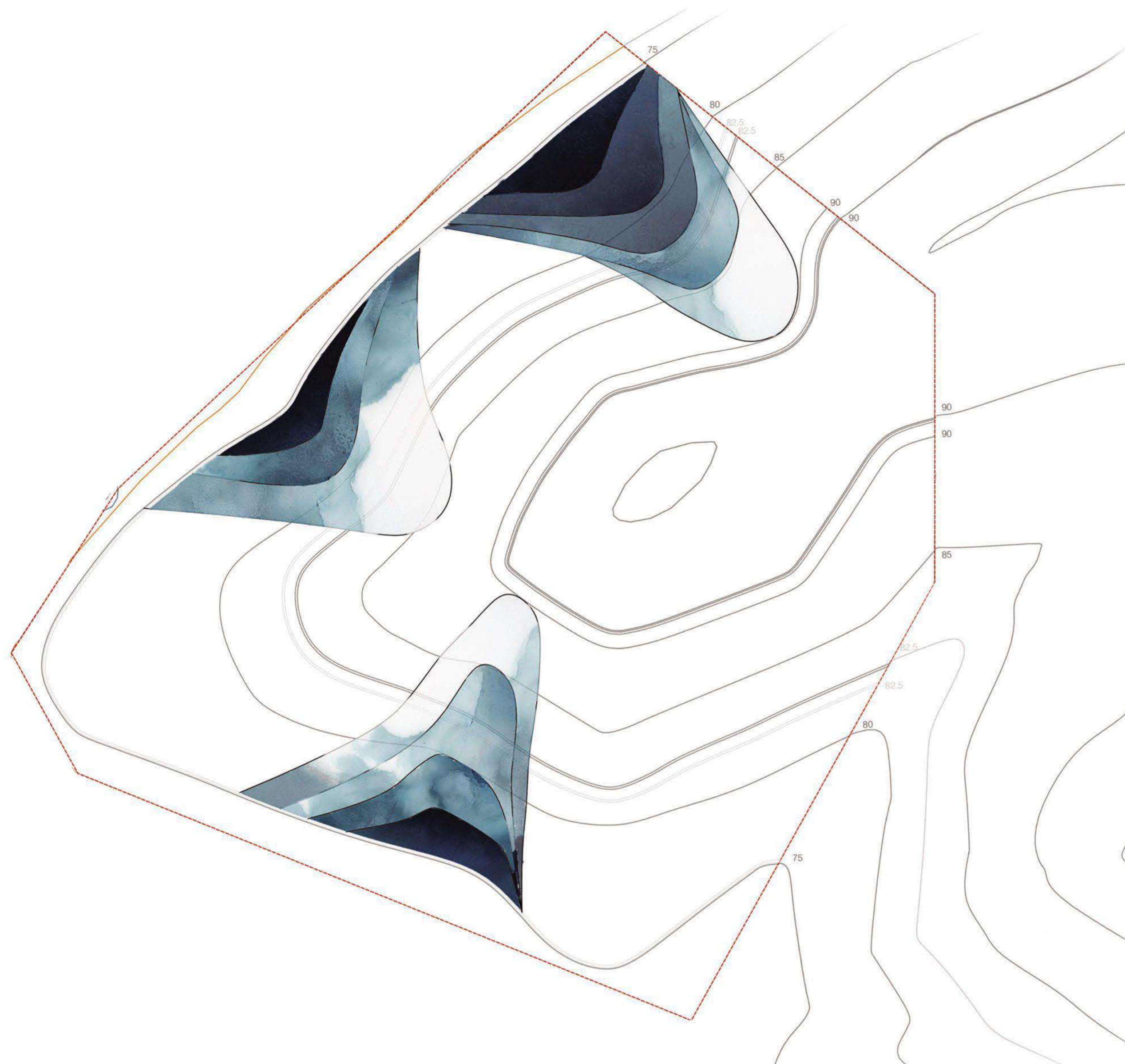
1:1000



1:400



MINA DE SÃO DOMINGOS, MÉRTOLA, PORTUGAL		
MODELAÇÃO DO TERRENO - ÁREAS ATERRO E ESCAVAÇÃO		
TRABALHO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITECTURA PAISAGISTA	FOLHA	3.2
INFLUÊNCIA DA ACÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE E ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE PAISAGENS MINEIRAS. PROPOSTA DE PROJECTO PAISAGÍSTICO PARA UMA VERTENTE DA MINA DE SÃO DOMINGOS.		
LEONOR FROES DAVID CRUZ DE CARVALHO	JANEIRO 2019	



LEGENDA


--- Limite de Intervenção

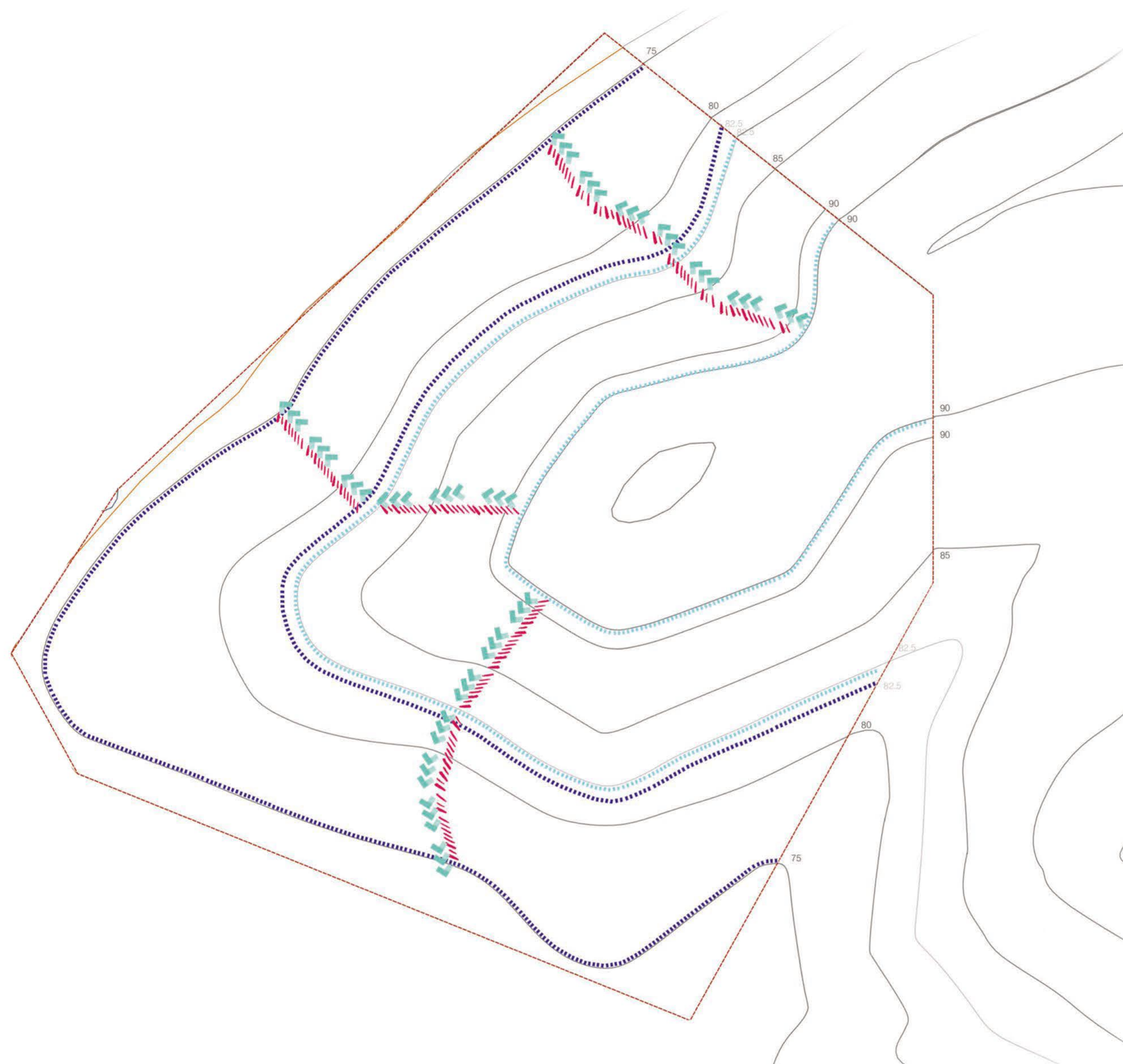


maior acumulação






menor acumulação



MINA DE SÃO DOMINGOS, MÉRTOLA, PORTUGAL	
REDE DE DRENAGEM - ÁREAS DE MAIOR ACUMULAÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS	
TRABALHO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITECTURA PAISAGISTA	FOLHA 4
INFLUÊNCIA DA ACÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE E ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE PAISAGENS MINEIRAS. PROPOSTA DE PROJECTO PAISAGÍSTICO PARA UMA VERTENTE DA MINA DE SÃO DOMINGOS.	
LEONOR FROES DAVID CRUZ DE CARVALHO	
JANEIRO 2019	



LEGENDA

-  Escoamento Superficial de Água
-  Valas de Crista de Talude
-  Valas de Pé de Talude
-  Dissipadores de Energia (afloramentos rochosos)
-  Limite de Intervenção



MINA DE SÃO DOMINGOS, MÉRTOLA, PORTUGAL

REDE DE DRENAGEM - ESQUEMA DE RETENÇÃO E DRENAGEM DE ÁGUAS SUPERFICIAIS

TRABALHO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITECTURA PAISAGISTA

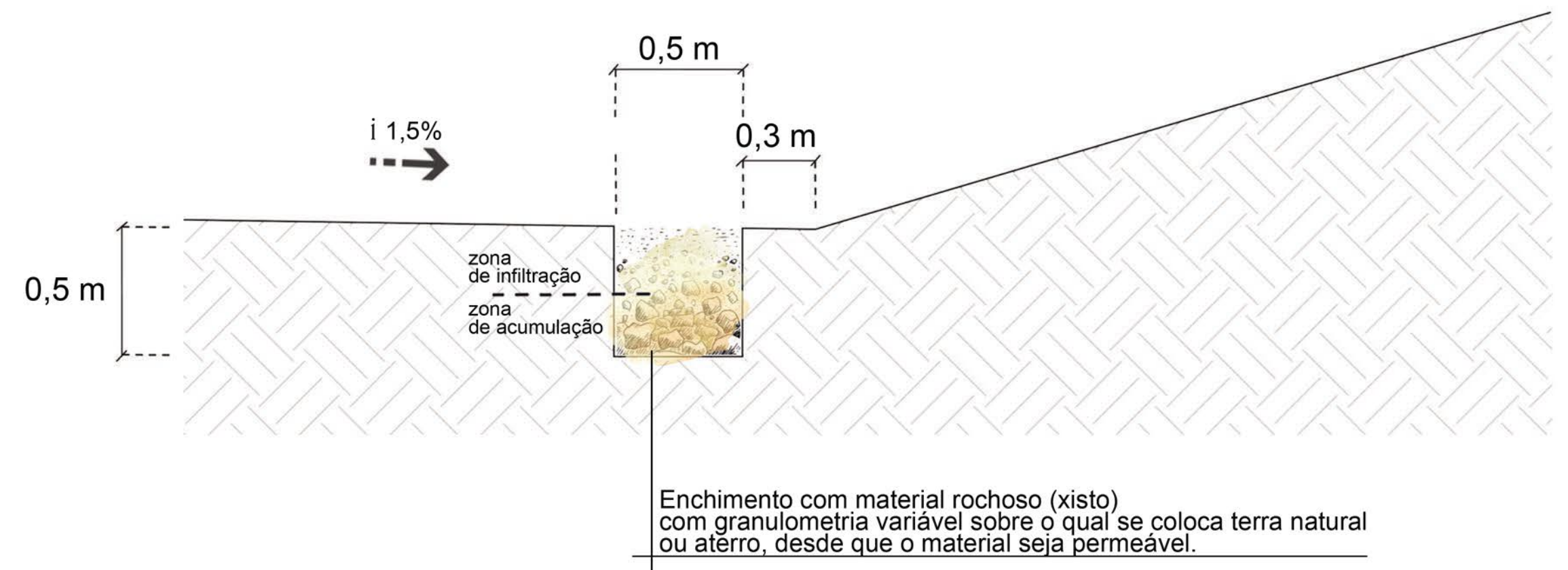
FOLHA 4.1

INFLUÊNCIA DA ACÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE E ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE PAISAGENS MINEIRAS.
PROPOSTA DE PROJECTO PAISAGÍSTICO PARA UMA VERTENTE DA MINA DE SÃO DOMINGOS.

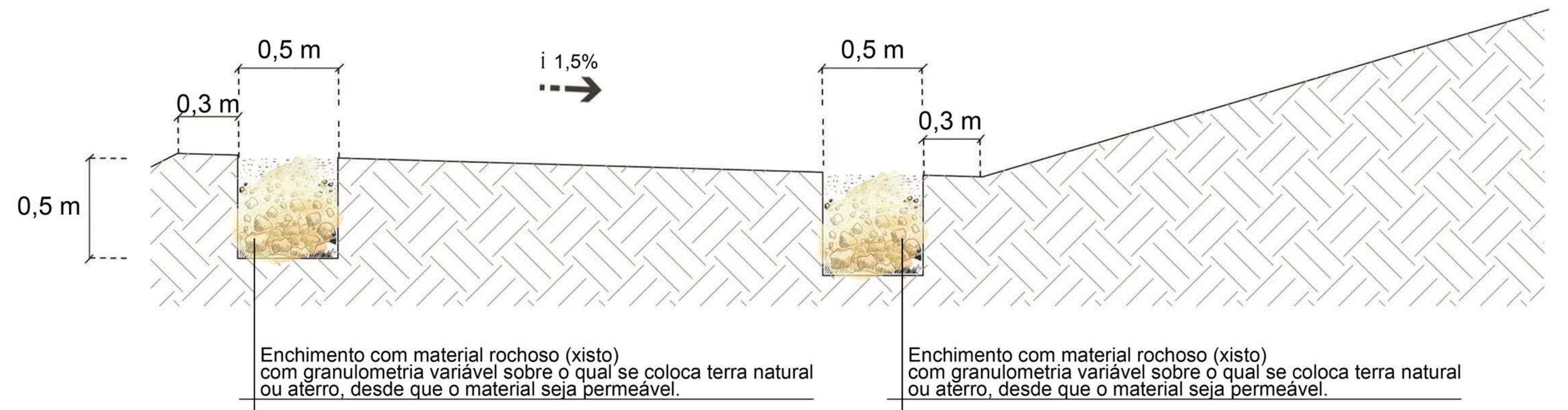
LEONOR FROES DAVID CRUZ DE CARVALHO

JANEIRO 2019





P1. Pormenor “Tipo” - Valas de Crista de Talude 1:20



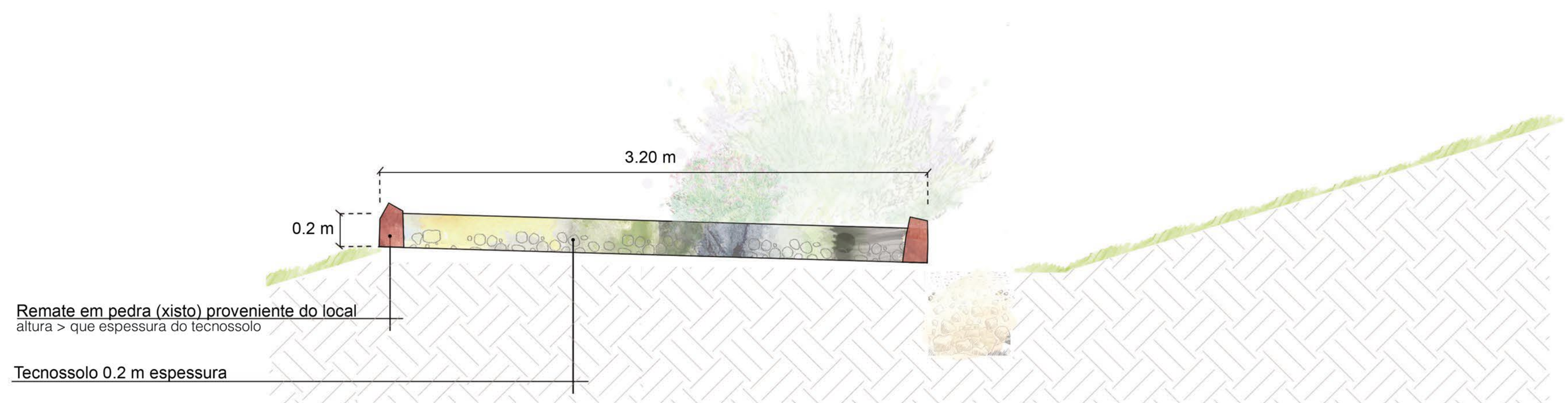
P2. Pormenor “Tipo” - Patamares com Valas de Crista (dir.) e Valas de Pé de Talude (esq.) 1:20



MINA DE SÃO DOMINGOS, MÉRTOLA, PORTUGAL	
PORMENORES DE CONSTRUÇÃO - VALAS DE DRENAGEM	
TRABALHO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITECTURA PAISAGISTA	FOLHA 5
INFLUÊNCIA DA ACÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE E ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE PAISAGENS MINEIRAS. PROPOSTA DE PROJECTO PAISAGÍSTICO PARA UMA VERTENTE DA MINA DE SÃO DOMINGOS.	
LEONOR FROES DAVID CRUZ DE CARVALHO	
JANEIRO 2019	



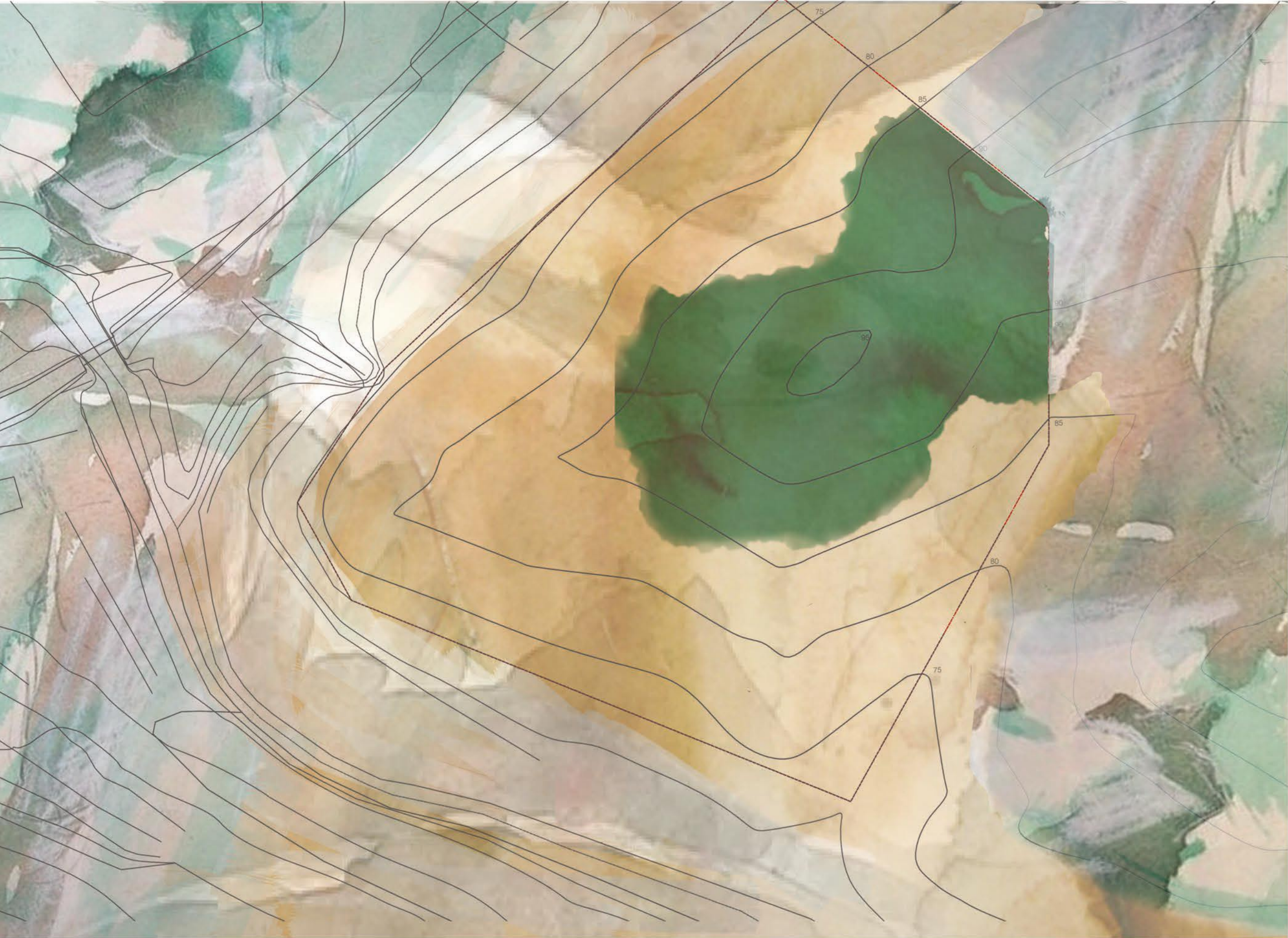
Composição do Tecnossolo 1:10



P3. Pormenor “tipo” - Tecnossolo nos patamares 1:20

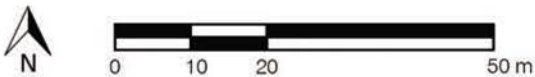



MINA DE SÃO DOMINGOS, MÉRTOLA, PORTUGAL		
PORMENORES DE CONSTRUÇÃO - TECNOSSOLO		
TRABALHO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITECTURA PAISAGISTA	FOLHA	6
INFLUÊNCIA DA ACÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE E ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE PAISAGENS MINEIRAS. PROPOSTA DE PROJECTO PAISAGÍSTICO PARA UMA VERTENTE DA MINA DE SÃO DOMINGOS.		
LEONOR FROES DAVID CRUZ DE CARVALHO	JANEIRO 2019	

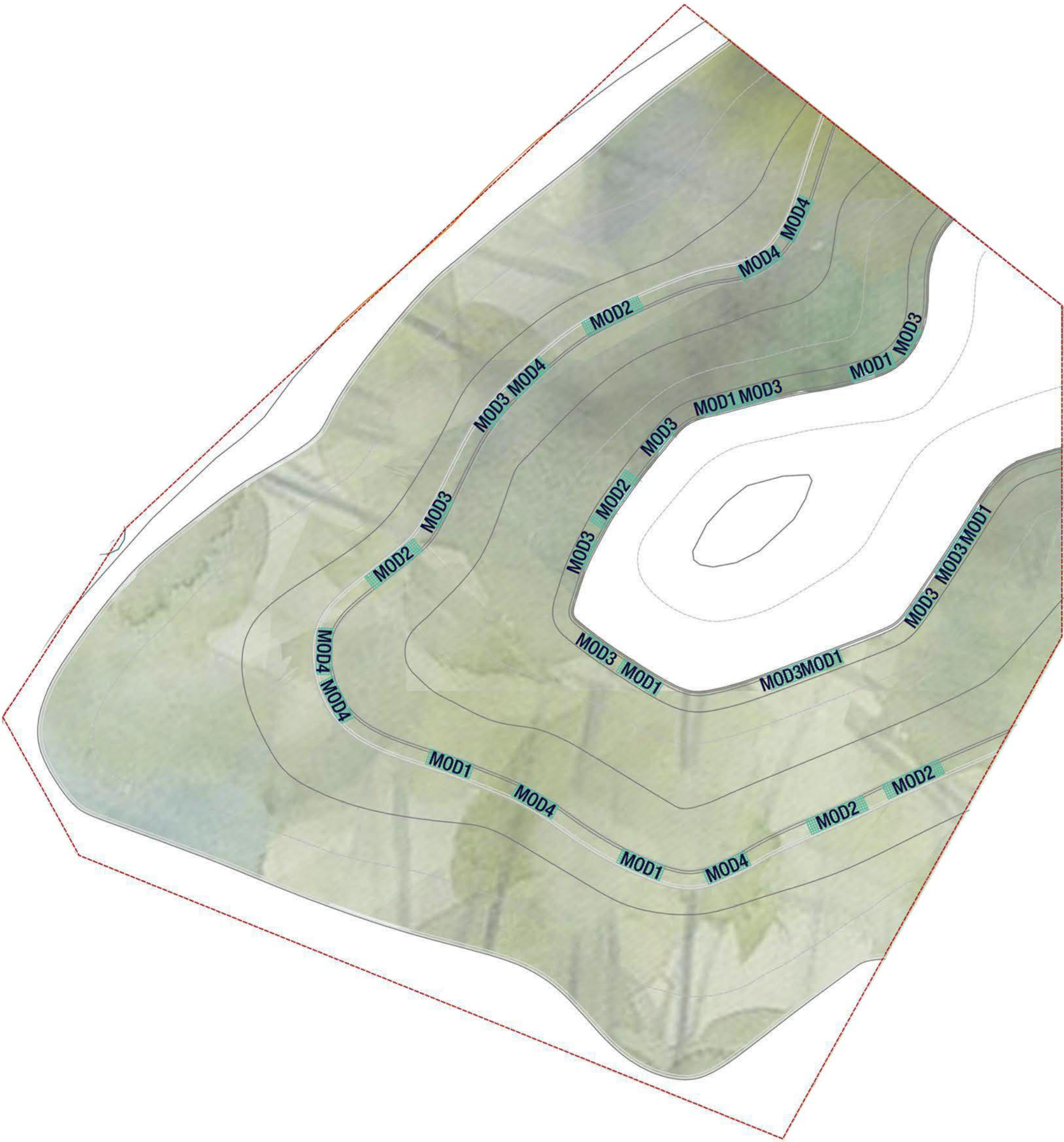


- LEGENDA
-  Vegetação Existente na zona de intervenção
 -  Vegetação Existente fora da zona de intervenção
 -  Área Sem Vegetação: Afloramentos rochosos, solos, substratos
 -  Sistema Húmido: Margens e leito do curso de água
 -  Limite de Intervenção

VEGETAÇÃO DOMINANTE EXISTENTE



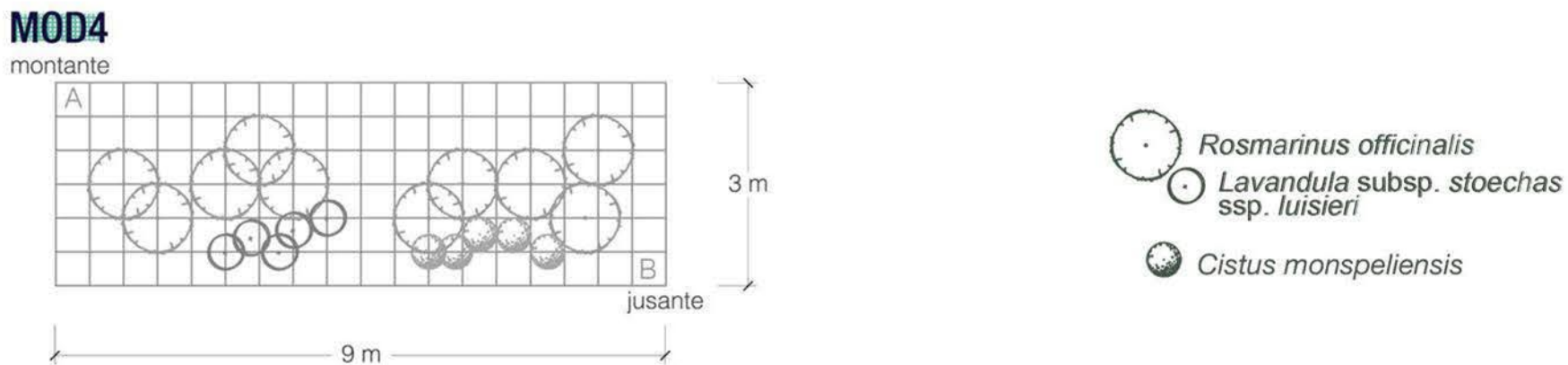
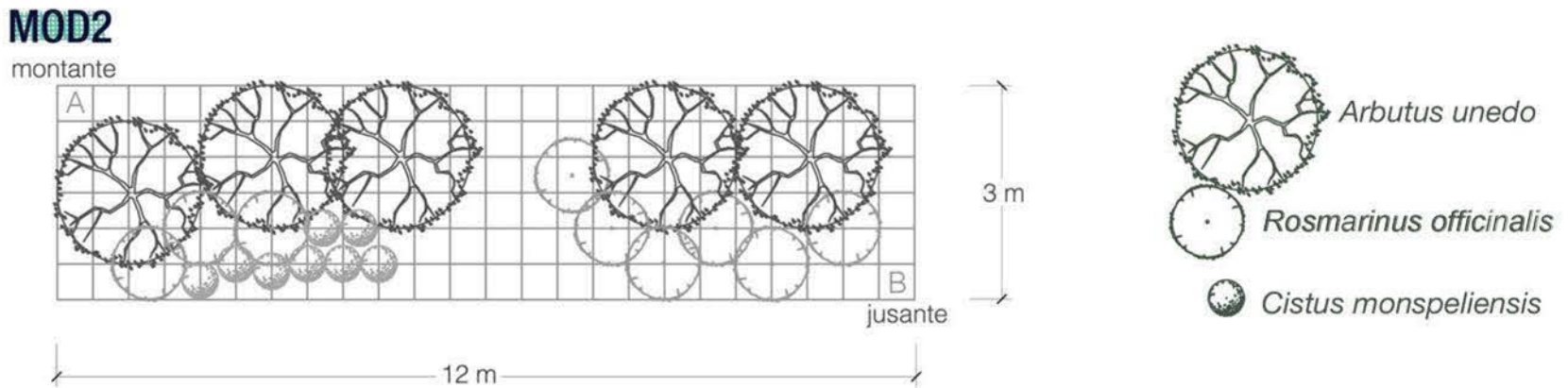
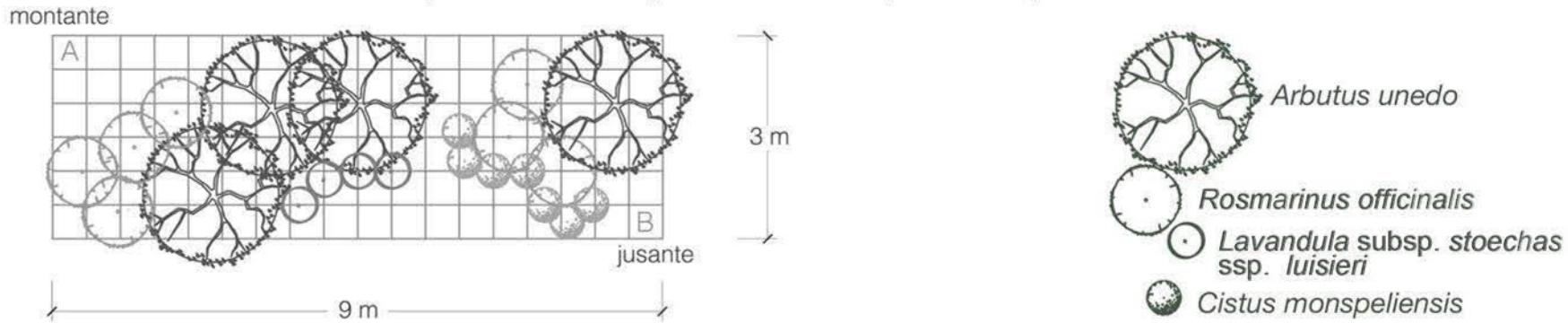
MINA DE SÃO DOMINGOS, MÉRTOLA, PORTUGAL	
PLANO DE PLANTAÇÃO - VEGETAÇÃO EXISTENTE	
TRABALHO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITECTURA PAISAGISTA	FOLHA 7
INFLUÊNCIA DA ACÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE E ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE PAISAGENS MINEIRAS. PROPOSTA DE PROJECTO PAISAGÍSTICO PARA UMA VERTENTE DA MINA DE SÃO DOMINGOS.	
LEONOR FROES DAVID CRUZ DE CARVALHO	
JANEIRO 2019	



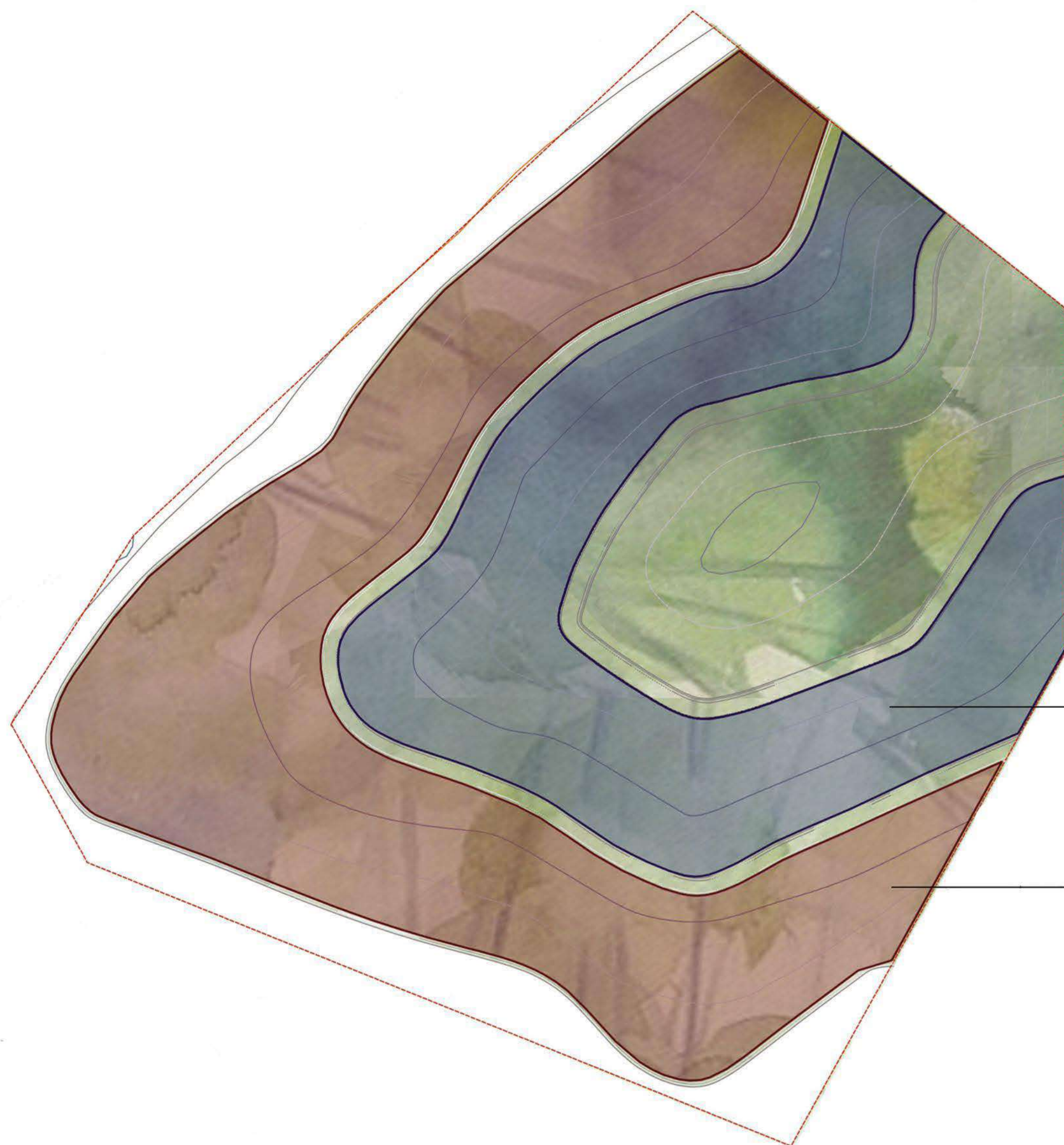
LEGENDA

- Limite de Intervenção
- SEMEITEIRA DE HERBÁCEAS ATRAVÉS DE GUNITAGEM ORGÂNICA
- 95% Mistura Herbácea
40% *Lolium perenne*
10% *Festuca arundinacea*
15% *Poa pratensis*
15% *Trifolium repens*
15% *Trifolium campestre*
- 5% Mistura Arbustiva Autóctone
2,5% *Cistus ladanifer*
2,5% *Cistus salviifolius*


MOD1 MÓDULOS DE PLANTAÇÃO DE VEGETAÇÃO ARBUSTIVA (ESC 1:100)



MINA DE SÃO DOMINGOS, MÉRTOLA, PORTUGAL		
PLANO DE PLANTAÇÃO - ESPÉCIES HERBÁCEAS E ARBUSTIVAS		
TRABALHO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITECTURA PAISAGISTA	FOLHA	7.1
INFLUÊNCIA DA ACÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE E ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE PAISAGENS MINEIRAS. PROPOSTA DE PROJECTO PAISAGÍSTICO PARA UMA VERTENTE DA MINA DE SÃO DOMINGOS.		
LEONOR FROES DAVID CRUZ DE CARVALHO	JANEIRO 2019	



LEGENDA

- Limite de Intervenção
-  Outras Áreas de Vegetação

SEMENTEIRA DE HERBÁCEAS ATRAVÉS DE GUNITAGEM ORGÂNICA

- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 65% Mistura Herbácea | 35% Mistura Arbustiva Autóctone |
| 25% <i>Lolium perenne</i> | 10% <i>Cistus ladanifer</i> |
| 15% <i>Festuca arundinacea</i> | 10% <i>Cistus salviifolius</i> |
| 10% <i>Poa pratensis</i> | 10% <i>Lavandula pedunculata</i> |
| 10% <i>Trifolium campestre</i> | 5% <i>Cistus monspeliensis</i> |
| 5% <i>Trifolium repens</i> | |

Talude Superior
Aplicação de Gunitagem Orgânica
Mistura de sementes 25 g/m²
Área = 7 277, 11 m²

Talude Inferior
Aplicação de Gunitagem Orgânica
Mistura de sementes 25 g/m²
Área = 10 348, 37 m²



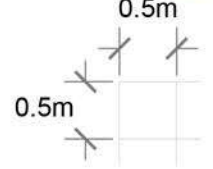
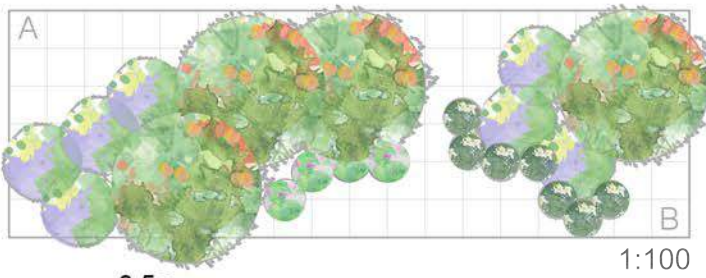
MINA DE SÃO DOMINGOS, MÉRTOLA, PORTUGAL	
PLANO DE PLANTAÇÃO - ÁREAS DE SEMENTEIRA DE HERBÁCEAS	
TRABALHO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITECTURA PAISAGISTA	FOLHA 7.1a
INFLUÊNCIA DA ACÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE E ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE PAISAGENS MINEIRAS. PROPOSTA DE PROJECTO PAISAGÍSTICO PARA UMA VERTENTE DA MINA DE SÃO DOMINGOS.	
LEONOR FROES DAVID CRUZ DE CARVALHO	JANEIRO 2019



MÓDULOS DE PLANTAÇÃO
MÓDULO 1



1:100

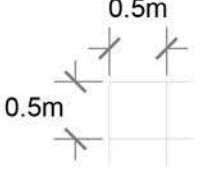
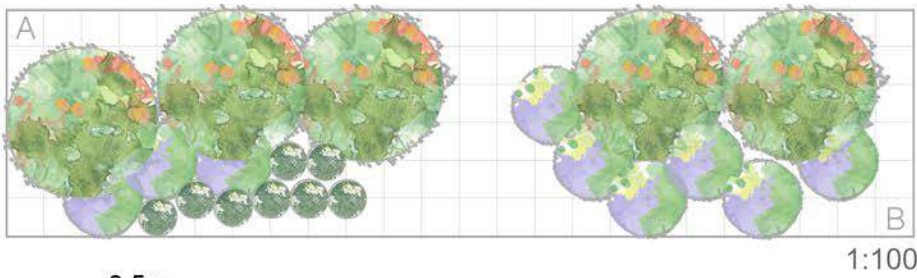


- a) Au | 4 unid
- b) Cm | 7 unid
- c) Ro | 7 unid
- d) Ls | 4 unid

MÓDULO 2



1:100

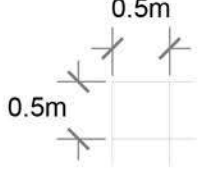
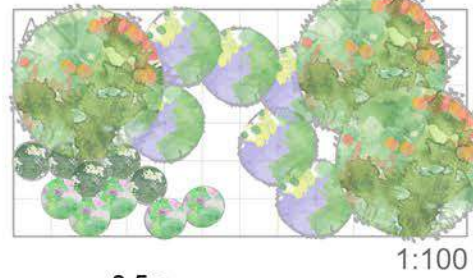


- a) Au | 5 unid
- b) Cm | 8 unid
- c) Ro | 9 unid

MÓDULO 3



1:100

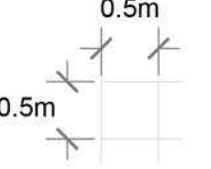
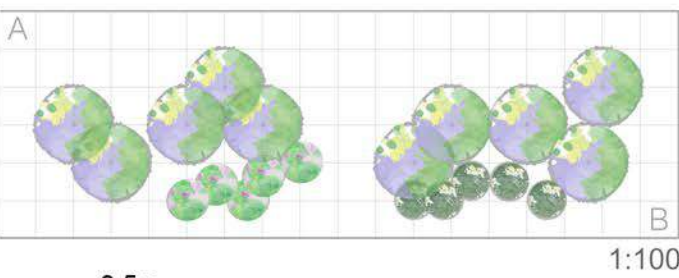


- a) Au | 3 unid
- b) Cm | 5 unid
- c) Ro | 6 unid
- d) Ls | 5 unid

MÓDULO 4



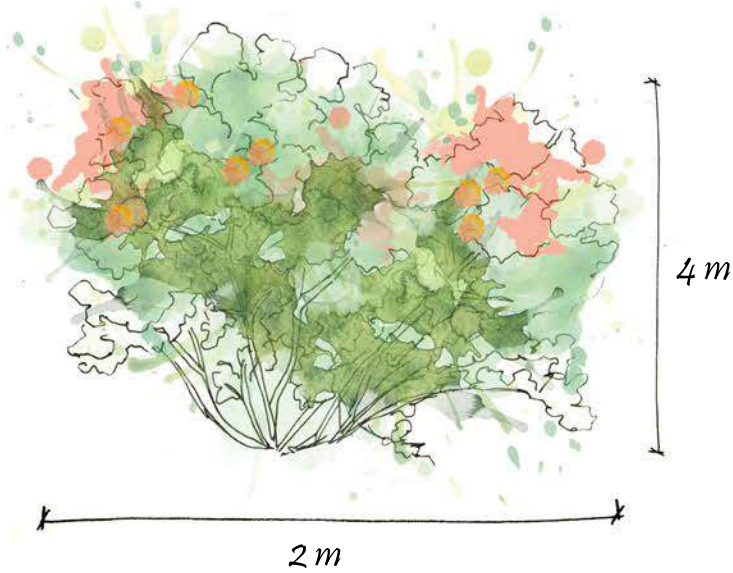
1:100



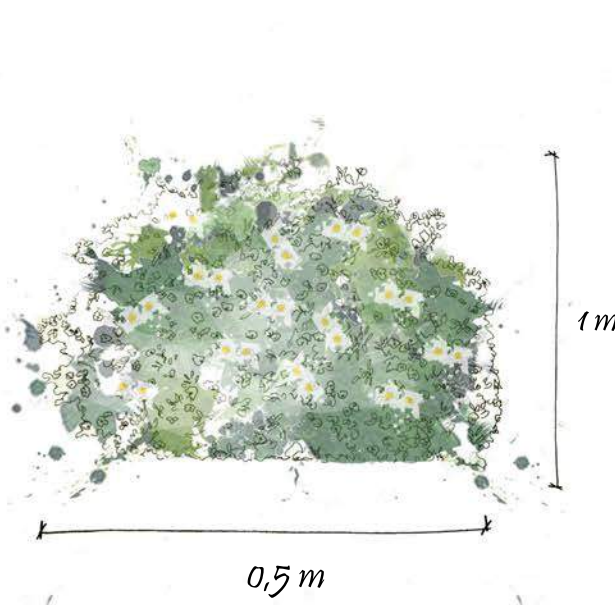
- b) Cm | 7 unid
- c) Ro | 7 unid
- d) Ls | 4 unid

ESPÉCIES A UTILIZAR

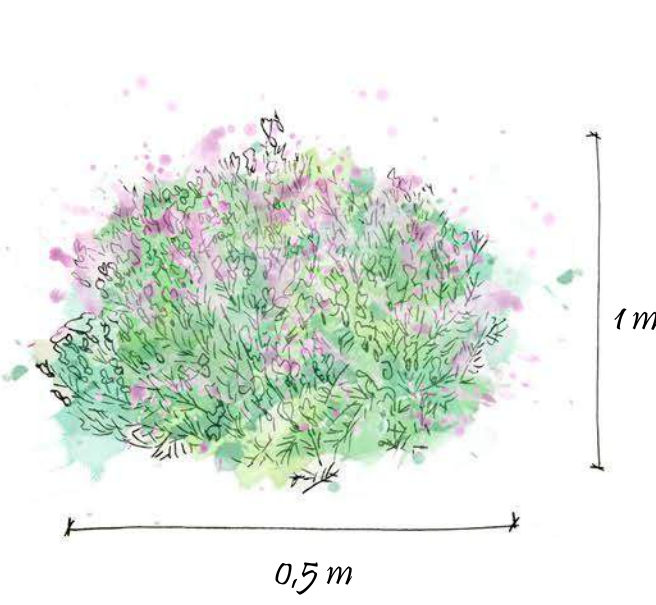
a) *Arbutus unedo* (Au)



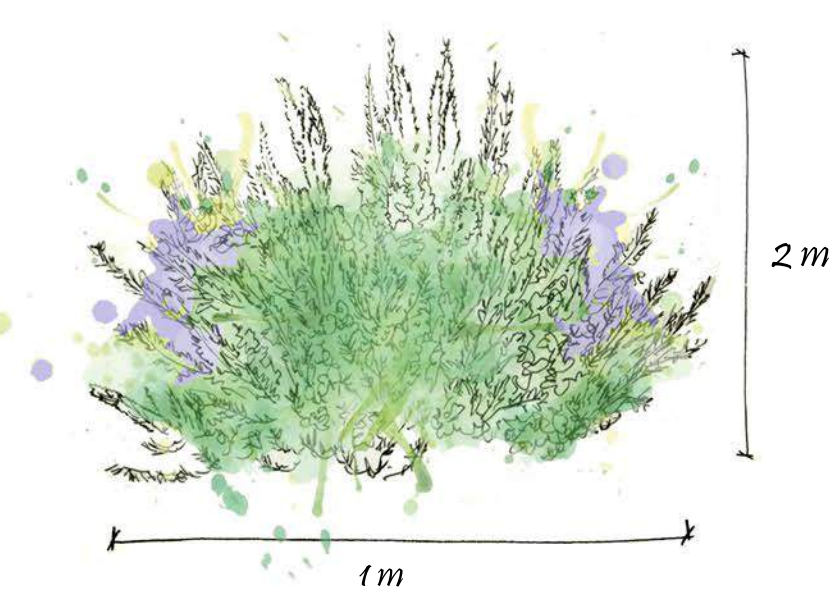
b) *Cistus monspeliensis* (Cm)



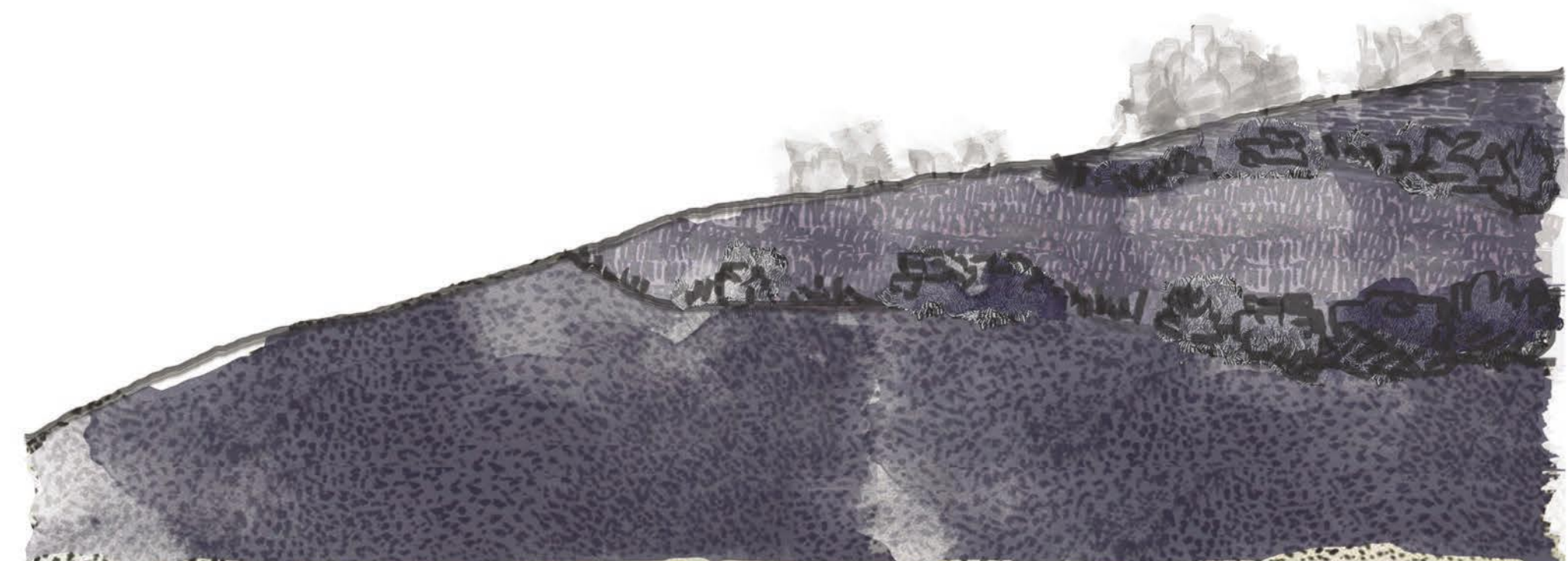
c) *Lavandula subsp. stoechas* spp. *luisieri* (Ls)



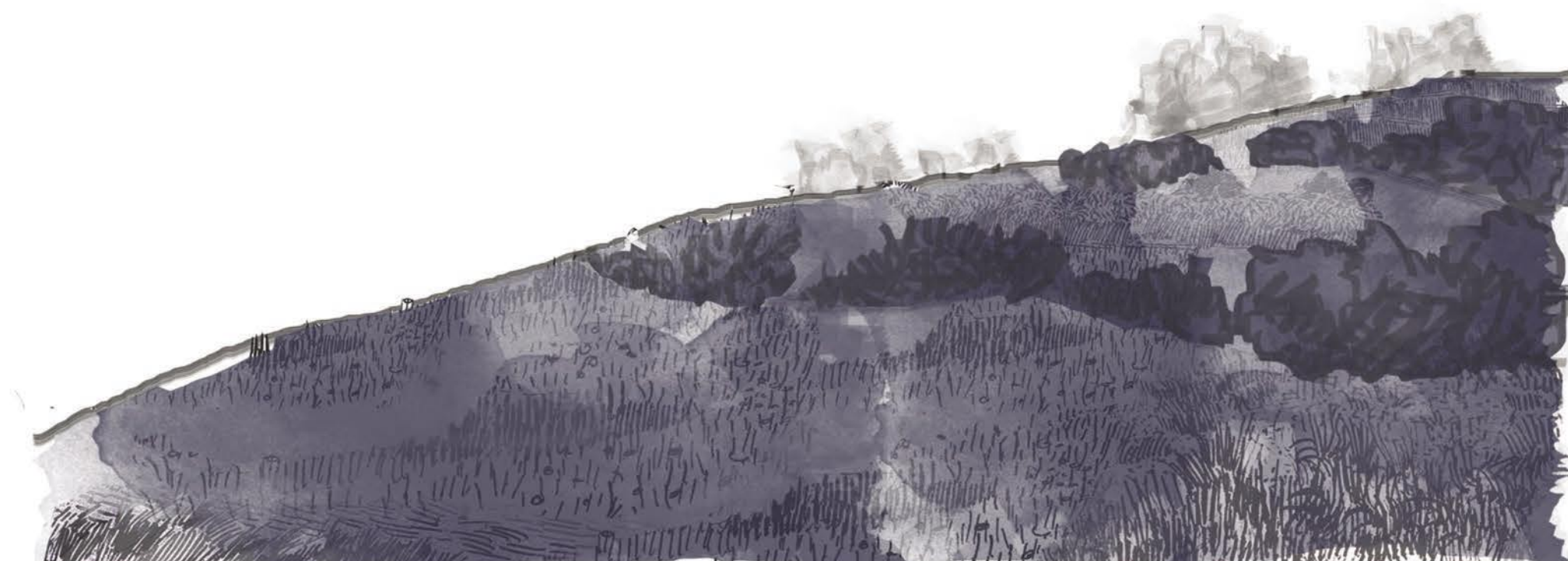
d) *Rosmarinus officinalis* (Ro)



DESENHO SEM ESCALA DO MÓDULO 2



ANO DA PLANTAÇÃO



APÓS 2 ANOS




APÓS 5 ANOS



APÓS 10 ANOS



MINA DE SÃO DOMINGOS, MÉRTOLA, PORTUGAL	
PLANO DE PLANTAÇÃO - EVOLUÇÃO DA VEGETAÇÃO	
TRABALHO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITECTURA PAISAGISTA	FOLHA 7.3
INFLUÊNCIA DA ACÇÃO DO HOMEM NO AMBIENTE E ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO DE PAISAGENS MINEIRAS. PROPOSTA DE PROJECTO PAISAGÍSTICO PARA UMA VERTENTE DA MINA DE SÃO DOMINGOS.	
LEONOR FROES DAVID CRUZ DE CARVALHO	
JANEIRO 2019	